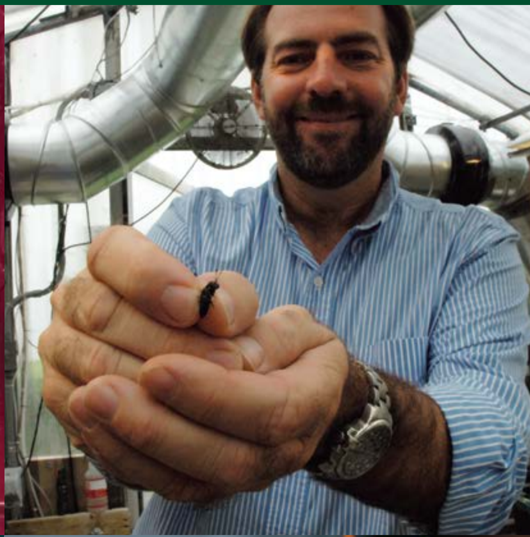
Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture

WAGENINGEN UR
For quality of life

# Insectes comestibles

## Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale








ÉTUDE
FAO
FORÊTS

ISSN 1014-2894

171

***Photos de couverture, en partant de la gauche, dans le sens des aiguilles d'une montre:***
Femmes vendant des chenilles à Bangui, République centrafricaine (P. Vantomme)
Grillons dorés en garniture de chocolats belges (P. Vantomme)
Mouche soldat noire dans un élevage intensif (L. Heaton)
Amuse-gueules, à base d'insectes (T. Calame)
Coléoptères utilisés comme colorants alimentaires (A. Halloran)
Larves de Scarabaeidae (O. Ndoye)

# Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale

ÉTUDE
FAO
FORÊTS

171

par
**Arnold van Huis**
**Joost Van Itterbeeck**
**Harmke Klunder**
**Esther Mertens**
**Afton Halloran**
**Giulia Muir**
et
**Paul Vantomme**

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE**
Rome, 2014

L’édition originale de cet ouvrage a été publiée en anglais par l’Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture sous le titre *Edible insects - future prospects for food and feed security*, 2013. FAO Forestry Paper No. 171.



ISBN 978-92-5-207595-0 (version imprimée)
E-ISBN 978-92-5-207596-7 (PDF)

# Table des matières

## Encadrés

## Figures



## Tableaux

# Avant-propos

Il est communément admis que le monde hébergera 9 milliards d'êtres humains en 2050. Pour nourrir cette population, la production alimentaire actuelle devra être pratiquement multipliée par deux. Les terres deviennent rares et accroître les surfaces dédiées à l'agriculture n'est une option ni viable ni durable. Les océans sont déjà surpêchés, le changement climatique et les pénuries d'eau qui en résultent pourraient avoir de graves conséquences sur la production alimentaire. Pour relever les défis actuels de l'alimentation et de la nutrition – près de 1 milliard de personnes sont chroniquement affames dans le monde – et les défis futurs, il est nécessaire de réévaluer ce que nous mangeons et comment nous le produisons. Les procédés inefficaces de production doivent être rectifiés et le gaspillage alimentaire réduit. Nous devons trouver de nouveaux moyens de production alimentaire.

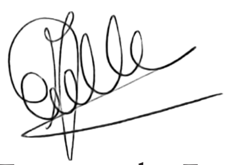
Les insectes comestibles ont toujours fait partie du régime alimentaire de l'homme, mais dans quelques sociétés une certaine répugnance à les consommer s'est montrée. Bien que la majorité des insectes comestibles soit encore récoltée en forêt, des innovations dans l'élevage de masse sont apparues dans de nombreux pays. Les insectes représentent une bonne opportunité de coupler les connaissances traditionnelles et la science moderne, aussi bien dans les pays développés que dans ceux en développement.

Cette publication trouve son origine dans le recensement fait par le Département des forêts de la FAO des pratiques traditionnelles de récolte des insectes pour l'alimentation et pour la vente, et des impacts écologiques qui en résultent sur les écosystèmes forestiers. Par la suite, la FAO a saisi l'opportunité de collaborer avec le Laboratoire d'entomologie de l'Université de Wageningen aux Pays-Bas – une institution à l'avant-garde de la recherche fondamentale et appliquée sur les insectes et sur l'alimentation humaine et animale. Cette collaboration a depuis pris de l'ampleur et s'est élargie au sein de la FAO avec l'examen des dimensions multiples de la récolte des insectes et de leur élevage comme une possibilité réelle de diminuer l'insécurité alimentaire.

Cet ouvrage s'appuie sur un grand nombre de travaux scientifiques sur la contribution des insectes aux écosystèmes, aux régimes alimentaires, à la sécurité alimentaire et aux moyens de subsistance des populations, aussi bien dans les pays développés que dans ceux en développement. Nous espérons qu'il contribuera à relever l'intérêt des agences nationales et internationales de l'alimentation pour les insectes comme sources d'aliments destinés aux hommes et aux animaux. Nous espérons aussi qu'il attirera l'attention des agriculteurs, des médias, du public en général et des décideurs dans les gouvernements, les agences donatrices bilatérales et multilatérales, les organismes de financement, les centres de recherche, les agences d'aide humanitaire et les industriels de l'alimentation humaine et animale. Par-dessus tout, nous espérons que cette publication attirera l'attention sur les multiples rôles importants que les insectes jouent dans la durabilité de la nature et de la vie humaine, et qu'elle servira également à documenter la contribution que les insectes apportent déjà à la diversification des régimes alimentaires et à l'amélioration de la sécurité alimentaire.



**Eduardo Rojas-Briales**
Sous-Directeur général
Département des forêts
FAO



**Ernst van den Ende**
Directeur général
Département de phytotechnie
Université et Centre de recherche de Wageningen

# Abréviations

| | |
|---|---|
| **Accord SPS** | Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires |
| **ANR** | Apports nutritionnels recommandés |
| **AEC** | Avant l'Ère commune |
| **BSLE** | Bêta-lactamases à spectre étendu |
| **CABIN** | Réseau d'information sur la biodiversité en Afrique centrale |
| **CGRFA** | Commission FAO des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture |
| **$CH_4$** | Méthane |
| **$CO_2$** | Dioxyde de carbone (gaz carbonique) |
| **CRGB** | Centre de recherche pour la gestion de la biodiversité (Bénin) |
| **EC** | Ère commune |
| **EFSA** | Autorité européenne de sécurité des aliments |
| **ESB** | Encéphalite spongiforme bovine |
| **FBF** | Aliments composés enrichis |
| **g** | Gramme |
| **GEG** | Gaz à effet de serre |
| **HACCP** | Analyse des dangers/points critiques, pour leur maîtrise |
| **IFIF** | Fédération internationale des industries de l'alimentation animale |
| **INFOODS** | Réseau international des systèmes de données sur l'alimentation |
| **IPM** | Lutte intégrée contre les ravageurs |
| **kg** | Kilogramme |
| **$N_2O$** | Protoxyde d'azote |
| **OMC** | Organisation mondiale du commerce |
| **OMS** | Organisation mondiale de la santé |
| **ONG** | Organisation non gouvernementale |
| **PAT** | Protéines animales transformées |
| **PFNL** | Produits forestiers non ligneux |
| **PRP** | Potentiel de réchauffement planétaire |
| **SEPALI** | Association des producteurs de soie à base communautaire (SEPALI Madagascar) |
| **VENIK** | Dutch Insect Farmers Association |
| **UE** | Union européenne |
| **VENIK** | Association hollandaise des éleveurs d'insectes |
| **WUR** | Université et Centre de recherche de Wageningen |

# Préface des auteurs

Les insectes sont souvent considérés comme une nuisance pour les êtres humains et comme de vrais ravageurs des cultures et des animaux. Cependant, en vérité, ils sont tout autres. Les insectes produisent des aliments pour un faible coût environnemental, contribuent positivement aux moyens de subsistance des populations et jouent un rôle fondamental dans l'équilibre de la nature. Néanmoins, ces bienfaits sont largement ignorés du public. Contrairement à la croyance populaire, les insectes ne sont pas juste des «aliments de famine» consommés uniquement en cas de disette, ou lorsque l'achat et la récolte de «nourritures conventionnelles» deviennent difficiles; de nombreuses populations dans le monde consomment des insectes par choix, principalement du fait de leur goût et de la place bien établie qu'ils occupent dans les cultures gastronomiques locales.

En 2008, dans le cadre du partenariat Université de Wageningen/FAO, quelques chercheurs se sont réunis pour initier la compilation d'un grand nombre de travaux de recherche, publiés ou non, sur l'élevage et la consommation des insectes. Leur intention était de briser les idées fausses susmentionnées et de contribuer au développement du secteur des insectes comestibles. Ce sujet couvre naturellement une large gamme de thèmes, de la conservation des habitats où les insectes sont récoltés à leur écologie, l'élevage artificiel des différentes espèces, leur transformation en aliments pour les humains ou pour les animaux, l'étiquetage et la commercialisation des aliments à base d'insectes. Pour cette raison, cette publication s'appuie sur de nombreuses disciplines et domaines de compétence. C'est un travail multidisciplinaire impliquant des forestiers, des zootechniciens, des nutritionnistes, des industriels de l'alimentation animale, des juristes et des spécialistes en politiques de sécurité alimentaire.

Cette publication concrétise la première tentative de la FAO de réunir tous les aspects de la chaîne de valorisation des insectes pour la production d'aliments pour les hommes et pour les animaux, afin de permettre une évaluation détaillée de leur contribution à la sécurité alimentaire. Elle comprend des travaux de recherche originaux du monde entier tels ceux réalisés par l'Université de Wageningen. Elle prend en compte également les résultats d'une «Consultation internationale d'experts sur l'évaluation du potentiel des insectes comme aliments pour les hommes et pour les animaux afin de contribuer à la sécurité alimentaire», qui s'est tenue au siège de la FAO à Rome en Italie, du 23 au 25 janvier 2012. Cette réunion a marqué le début du dialogue entre experts du secteur agricole de différentes formations et a renforcé l'échange d'informations sur les bénéfices potentiels de l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale au sein une stratégie mondiale de sécurité alimentaire. Les participants à cette réunion ont fourni aux auteurs d'abondantes données complémentaires et des avis compétents. Tout ceci a permis de définir la forme et le contenu de cet ouvrage et ses conclusions qui, nous l'espérons, pourront fournir la base de solutions pour diminuer l'insécurité alimentaire.

L'élevage des insectes pour l'alimentation humaine et animale est encore un secteur en devenir, et les défis futurs vont apparaître au fur et à mesure qu'il se développera. À ce titre, les lecteurs sont invités à contacter les auteurs et à leur faire part de leurs réactions. Leurs contributions aideront sans aucun doute au développement futur du secteur.

La science des insectes comestibles étant encore à un stade relativement précoce, elle ne s'honore que d'un petit nombre de scientifiques de renom. Parmi ceux-ci, Gene R. DeFoliart (1925-2013) est décédé peu de temps avant la publication de ce livre. Il a consacré sa longue carrière académique à faire prendre conscience du rôle des insectes comme ressource alimentaire mondiale, et il a poursuivi ce travail longtemps après avoir pris sa retraite en juillet 1991. Il était aussi le fondateur de «The Food Insects Newsletter» (lettre d'information sur les insectes comestibles). Les auteurs dédient ce livre à sa mémoire.

# Remerciements

Il a été possible de réaliser cet ouvrage grâce aux apports de qualité de nombreux contributeurs de formation diverse et originaires de différentes parties de la planète. Leurs idées, leurs publications et leurs activités professionnelles ont toutes joué un rôle dans la conception de cette publication. Parmi ceux-ci, nos remerciements vont surtout aux 75 participants à la «Réunion d'experts pour l'évaluation du potentiel que représentent les insectes dans la nutrition humaine et animale en contribution à la sécurité alimentaire» qui s'est tenue à Rome du 23 au 25 janvier 2012[1]. Des remerciements particuliers sont adressés aux personnes qui ont révisé certains chapitres de cet ouvrage: Christian Borgemeister, Eraldo Medeiros Costa-Neto, David Drew, Florence Dunkel, Jørgen Eilenberg, Ying Feng, Parimalendu Haldar, Yupa Hanboonsong, Antoine Hubert, Annette Bruun Jensen, Nonaka Kenichi, Andrew Müller, Maurizio Paoletti, Julieta Ramos Elorduy Blásquez, Nanna Roos, Oliver Schneider, Severin Tchibozo, Alan L. Yen et Michel Malagnoux.

Plusieurs membres du personnel de la FAO se sont portés volontaires pour réviser les chapitres relevant de leur compétence: Philippe Ankers, Jan Breithaupt, Carmen Bullón, Ruth Charrondiere, Persijn Diedelinde, Patrick Durst, Graham Hamley, Martin Hilmi, Edgar Kaeslin, Blaise Kuemlangan, Harinder Makar, Verena Nowak, Koroma Suffyan, Patrice Talla, Peter Van Lierop et Philine Wehling. Nous les remercions pour leur bonne volonté dans leur contribution à un tel effort interdisciplinaire. Des remerciements sont aussi adressés au personnel de l'Université de Wageningen, dont Sarah van Broekhoven et Dennis Oonincx.

Les auteurs sont reconnaissants à David McDonald et Alastair Sarre pour l'édition du texte, Yde Jongema pour la vérification des noms latins des insectes, Kate Ferrucci pour la conception et la mise en page du document, Susy Tafuro et Lucia Travertino Grande pour la gestion administrative du manuscrit, de l'impression à la distribution, ainsi que Maria DiCristofaro et Alison Small pour l'appui médiatique. Des remerciements particuliers sont adressés à Eva Müller, Directrice de la Division «Économie, politiques et produits forestiers» et à Michael Martin, le précédent Directeur, qui ont tous deux pleinement appuyé le Programme «Insectes comestibles».

Par-dessus tout, les auteurs remercient tous ceux pour qui, autour du monde, manger des insectes fait, et a toujours fait, partie intégrante de leur mode de vie quotidienne. Ils nous ont transmis leur compréhension traditionnelle des insectes comestibles et restent les gardiens de précieux savoirs sur les rôles importants que jouent les insectes dans leur vie quotidienne. Ces peuples sont un exemple de consommation continue d'insectes et la preuve du potentiel que ces insectes comestibles représentent comme source future d'aliments pour l'homme et pour les animaux.

[1] Pour plus d'information, voir www.fao.org/forestry/edibleinsects/74848/fr

# Résumé


Ce livre évalue le potentiel que les insectes représentent pour l'alimentation humaine et animale et recense l'information existante et les travaux de recherche sur les insectes comestibles. L'évaluation est établie sur les données disponibles les plus récentes et les plus complètes fournies par diverses sources et par divers experts du monde entier.

Les insectes sont apparus au XXI$^{e}$ siècle comme une ressource particulièrement appropriée pour l'alimentation humaine et animale en raison des prix croissants des protéines animales, de l'insécurité alimentaire, des pressions accrues sur l'environnement, de la croissance démographique et de la demande croissante en protéines par les classes moyennes. Ainsi, il devient urgent de trouver des alternatives à l'élevage du bétail conventionnel et d'autres sources d'aliments pour les animaux. La consommation d'insectes ou **entomophagie** contribue donc positivement à la protection de l'environnement, à la santé et aux moyens de subsistance des populations locales.

Cette publication tient son origine d'une petite étude du Département des forêts de la FAO en 2003 pour s'informer de la place des insectes dans les stratégies de subsistance des populations en Afrique centrale et pour évaluer l'impact des récoltes d'insectes sur leurs habitats naturels et sur la durabilité des forêts. Cette étude s'est depuis élargie aux dimensions multiples de la récolte et de l'élevage des insectes afin d'estimer le potentiel que les insectes représentent pour l'amélioration de la sécurité alimentaire au niveau mondial. Le but de ce livre est de réunir pour la première fois les nombreuses opportunités et contraintes de l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale.

## RÔLE DES INSECTES

On estime que les insectes font partie des repas traditionnels d'au moins 2 milliards de personnes. Plus de 1 900 espèces sont mentionnées comme aliments humains. Les insectes fournissent de nombreux services écologiques fondamentaux pour la survie de l'humanité. Ils jouent aussi un rôle important dans la reproduction végétale par la pollinisation, améliorent la fertilité des sols par bioconversion des déchets, contrôlent les nuisibles grâce à la lutte biologique naturelle et fournissent une grande variété de produits de valeur, tels que le miel, la soie, ou médicinaux comme l'asticothérapie. De plus, les insectes ont pris place dans les cultures humaines comme objets de collection et de décoration, dans les films, les arts visuels et la littérature. Les insectes les plus consommés au niveau mondial sont les scarabées (coléoptères, 31 pour cent), les chenilles (lépidoptères, 18 pour cent), les abeilles, guêpes et fourmis (hyménoptères, 14 pour cent). Ensuite, ce sont les sauterelles, criquets et grillons (orthoptères, 13 pour cent), les cigales, cicadelles, cochenilles et punaises (hémiptères, 10 pour cent), les termites (isoptères, 3 pour cent), les libellules (odonates, 3 pour cent), les mouches (diptères, 2 pour cent) et des insectes appartenant à d'autres ordres (5 pour cent).

## CULTURE

L'entomophagie est fortement influencée par les coutumes culturelles ou religieuses, et les insectes sont consommés comme ressource alimentaire dans de nombreuses parties du monde. Dans la plupart des pays occidentaux cependant, l'entomophagie est regardée avec dégoût et la consommation d'insectes est associée aux comportements primitifs. Cette attitude a conduit à négliger les insectes dans la recherche agricole. Malgré des références historiques d'utilisation alimentaire d'insectes, l'entomophagie n'a que très récemment attiré l'attention du public au niveau mondial.

## LES INSECTES, UNE RESSOURCE NATURELLE

Les insectes comestibles vivent dans une grande diversité d'habitats, des écosystèmes aquatiques aux terres agricoles en passant par les forêts. Jusqu'à récemment, les insectes apparaissaient comme une ressource inépuisable récoltée dans la nature. Cependant, certaines espèces comestibles sont maintenant en péril. Un certain nombre de facteurs anthropiques, tels que la surexploitation, la pollution, les incendies et la dégradation des habitats, ont contribué à la raréfaction de nombreuses espèces d'insectes comestibles. Le changement climatique affectera vraisemblablement les aires de distribution des insectes comestibles et leur accessibilité d'une façon qui est encore relativement mal connue. Cette publication contient des études de cas de différentes régions sur les stratégies de conservation et les techniques de production naturelle améliorée des populations rurales pour protéger ces insectes et leurs plantes hôtes. De telles techniques aboutissent à une meilleure conservation des habitats.

## BÉNÉFICES POUR L'ENVIRONNEMENT

Les bénéfices environnementaux de l'élevage des insectes pour l'alimentation humaine et animale reposent sur la grande efficacité des insectes dans la conversion des aliments. Les grillons, par exemple, n'ont besoin que de deux kilogrammes d'aliments pour accroître leur masse corporelle de un kilogramme. De plus, les insectes peuvent être élevés sur des sous-produits organiques (y compris les déchets excrétés par les humains ou les animaux) et peuvent contribuer à réduire la contamination de l'environnement. Il a été observé que les insectes émettent moins de gaz à effet de serre et moins d'ammoniac que le bétail ou les porcs, et leur élevage nécessite significativement moins de surface et moins d'eau que l'élevage du bétail. Comparés aux mammifères et aux oiseaux, les insectes pourraient aussi présenter moins de risques de transmission de zoonoses aux humains et d'infections au bétail ou à la faune sauvage, mais cette question nécessite des recherches plus approfondies.

## VALEUR NUTRITIONNELLE POUR L'ALIMENTATION HUMAINE

Les insectes sont une ressource alimentaire saine et nourrissante, riche en matières grasses, protéines, vitamines, fibres et minéraux. La valeur nutritive des insectes comestibles est très variable en raison du grand nombre d'espèces. Même au sein d'un groupe d'espèces, la valeur nutritionnelle peut varier en fonction du stade atteint par l'insecte au cours du cycle des métamorphoses, de l'habitat où il vit, et de son alimentation. Par exemple, les teneurs en oméga-3 insaturés et en six acides gras du ver de farine sont comparables à celles du poisson (et bien supérieures à celles du bétail ou du porc), et les teneurs en protéines, vitamines et minéraux du ver de farine sont comparables à celles du poisson et de la viande.

## SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Les insectes comestibles sont, pour la plupart, récoltés dans la nature. Cependant, certaines espèces, comme les abeilles ou les vers à soie, sont domestiquées depuis longtemps du fait de la valeur de leurs produits. Les insectes sont aussi élevés en grand nombre pour la lutte biologique (p. ex. comme prédateurs et comme parasitoïdes), pour la santé (p. ex.: asticothérapie) et pour la pollinisation. Toutefois, le concept d'élevage des insectes pour l'alimentation est relativement nouveau; des exemples d'élevage d'insectes pour l'alimentation humaine sont fournis par les élevages de grillons en République démocratique populaire lao, en Thaïlande et au Viet Nam.

En zones tempérées, l'élevage des insectes est surtout réalisé par des entreprises familiales qui élèvent à grande échelle des vers de farine, des grillons et des criquets, principalement pour alimenter les zoos ou les animaux de compagnie. Ce n'est que récemment que certaines de ces entreprises ont été capables de commercialiser leurs insectes pour l'alimentation humaine et animale, et leur production à but de consommation humaine directe reste limitée.

Quelques entreprises de taille industrielle sont à diverses étapes de démarrage de l'élevage de masse d'insectes tels que la mouche soldat noire. Ces insectes sont produits pour être consommés en entier ou pour être transformés en aliments pour le bétail. Les facteurs critiques pour réussir ces élevages sont des recherches sur la biologie, les conditions d'élevage et les formules nutritionnelles pour chaque espèce d'insecte élevée. Les systèmes de production actuels sont coûteux et de nombreux brevets ont été déposés. Un défi majeur pour ces élevages à échelle industrielle est la mise au point de systèmes automatiques qui permettent d'établir des unités de production économiquement compétitives avec la production traditionnelle de viande à partir de l'élevage de bétail (ou la production agricole de substituts de viande comme le soja).

## LES INSECTES DANS L'ALIMENTATION ANIMALE

Les fortes demandes récentes, et les prix élevés des farines de poisson et du soja qui en découlent, parallèlement à l'accroissement de la production aquacole, poussent à de nouvelles recherches sur le développement de protéines à partir d'insectes pour l'aquaculture et l'aviculture. Les produits alimentaires pour animaux à base d'insectes pourraient avoir un marché similaire à celui des farines de poisson et du soja, qui sont actuellement les composants principaux des aliments destinés à l'aquaculture et au bétail. Des exemples suggèrent que les aliments pour animaux à base d'insectes sont comparables à ceux à base de farine de poisson et de soja. Des insectes vivants ou morts occupent déjà des créneaux commerciaux, principalement pour nourrir des animaux de compagnie ou de zoo.

## TRANSFORMATION

Les insectes sont souvent consommés en entier, mais ils peuvent également être transformés en granulés ou en pâtes. L'extraction de protéines, corps gras, chitine, minéraux et vitamines est aussi possible. Actuellement, les procédés d'extraction sont trop onéreux et demandent à être améliorés pour les rendre rentables et applicables au niveau industriel dans le secteur de l'alimentation humaine et animale.

## SÉCURITÉ DES ALIMENTS ET CONSERVATION

Les processus de transformation et la conservation des insectes et des produits qui en sont dérivés doivent suivre les mêmes règles de santé et d'assainissement que celles appliquées pour tout autre produit de consommation humaine ou animale, de façon à assurer la sécurité des aliments. Du fait de leur nature biologique, plusieurs aspects doivent être pris en compte, comme l'innocuité microbienne, la toxicité, la saveur et la présence de composants inorganiques. Des effets sanitaires particuliers doivent être pris en compte lorsque les insectes sont élevés sur des déchets tels que le fumier ou les déchets d'abattoir. Les allergies induites par l'ingestion d'insectes sont rares, mais elles existent. Quelques cas de réactions allergiques aux arthropodes ont été signalés.

## AMÉLIORATION DES MOYENS D'EXISTENCE

La récolte des insectes et leur mini-élevage au niveau familial ou leur élevage à échelle industrielle peuvent offrir d'importantes possibilités de revenus pour les populations aussi bien dans les pays en développement que dans les pays développés. Dans les pays en développement, certains des éléments les plus pauvres de la société, comme les femmes et les populations urbaines et rurales sans terre, peuvent aisément participer à la récolte des insectes, à leur élevage, à leur préparation et à leur vente. Ces activités peuvent améliorer directement leur propre alimentation et leur fournir des revenus par la vente comme denrée alimentaire de rue de leurs excédents de production. Les insectes peuvent facilement être récoltés directement dans la nature ou être élevés avec un investissement technique ou financier limité (p. ex.: équipement de base pour la récolte ou l'élevage). L'élevage des insectes ne nécessite que de faibles surfaces et peu d'efforts de commercialisation, car ils font déjà partie de certaines cultures alimentaires locales.

Les carences en protéines et autres carences alimentaires sont typiquement plus répandues dans les secteurs les plus désavantagés de la société et lors de conflits sociaux ou lors de catastrophes naturelles. Du fait de leur valeur nutritive, de leur accessibilité, de la simplicité technique de leur élevage et de la rapidité de leur taux de croissance, les insectes offrent des opportunités peu onéreuses et efficaces pour contrecarrer l'insécurité alimentaire en fournissant des denrées alimentaires d'urgence, en améliorant les moyens d'existence des populations et la qualité du régime alimentaire traditionnel des populations vulnérables.

## DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

La récolte des insectes et leur élevage, aussi bien au niveau familial qu'à l'échelle industrielle, peuvent offrir des emplois et des revenus. Dans les pays en développement en Afrique australe, en Afrique centrale et en Asie du Sud-Est, où la demande en insectes comestibles existe et où il est relativement facile d'approvisionner les marchés, la filière de récolte des insectes, leur élevage, leur transformation en denrée alimentaire de rue, ou leur vente comme aliments pour l'aviculture ou la pisciculture, est à la portée des petites entreprises. À part quelques exceptions, le commerce international à longue distance des insectes pour l'alimentation est insignifiant. Le commerce en direction des pays développés répond souvent à la demande des communautés immigrées dans ces pays, ou au développement de créneaux commerciaux pour les aliments exotiques. Le commerce transfrontalier des insectes comestibles est important, surtout en Asie du Sud-Est et en Afrique centrale.

## COMMUNICATION

Les opinions contrastées sur l'entomophagie imposent des stratégies de communication adaptées à chacune des parties prenantes du secteur. Sous les tropiques, où l'entomophagie est bien établie, les stratégies de communication doivent promouvoir les insectes comestibles comme aliments de valeur pour lutter contre l'occidentalisation croissante des régimes alimentaires. Les sociétés occidentales nécessitent des stratégies de communication adaptées et des programmes pédagogiques traitant du dégoût. Leur but est d'influencer le public dans son ensemble ainsi que les décideurs politiques et les investisseurs du secteur en leur fournissant une information attestée sur le potentiel des insectes comme sources de nourriture humaine et animale. Ceci permettra de promouvoir les insectes sur les agendas des politiques, des investisseurs et des chercheurs du monde entier.

## LÉGISLATION

Les cadres réglementaires des filières alimentaires humaines et animales se sont énormément développés ces vingt dernières années; cependant, les règlements concernant les insectes en tant que ressource alimentaire pour les populations ou pour les animaux font souvent toujours défaut. Dans les pays développés, l'absence d'une législation claire et de normes pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale, est le principal facteur limitant le développement de l'élevage industriel d'insectes dans ce but. Dans les pays en développement, l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale est plus tolérée que réglementée. Le secteur de l'alimentation animale semble prendre la tête dans la promotion de normes prenant de plus en plus compte des insectes, alors que le concept «novel food» (nouveaux aliments) devient l'instrument principal pour l'établissement de règles et de normes pour l'utilisation d'insectes dans l'alimentation humaine.

## MARCHE À SUIVRE

Toutes les actions visant à libérer l'énorme potentiel des insectes pour accroître la sécurité alimentaire nécessitent que les quatre principaux goulots d'étranglement et défis suivants soient résolus simultanément. Premièrement, plus d'information sur la valeur nutritionnelle des insectes est nécessaire, afin de les promouvoir plus efficacement comme nourriture saine. Deuxièmement, les impacts environnementaux de la récolte et de l'élevage des insectes doivent être évalués pour permettre de les comparer à ceux provoqués par les

pratiques agricoles traditionnelles et l'élevage du bétail, qui peuvent être plus dommageables pour l'environnement. Troisièmement, les bénéfices socioéconomiques que la récolte et l'élevage des insectes peuvent offrir et leur augmentation doivent être évalués, en particulier pour améliorer la sécurité alimentaire des plus pauvres. Finalement, des cadres législatifs clairs et exhaustifs au niveau national et au niveau international sont nécessaires au plein développement (de l'échelle domestique à l'échelle industrielle) de la production et du commerce international des produits issus des insectes utilisés dans l'alimentation humaine et animale.

# 1. Introduction

Le fait de manger des insectes s'appelle «**entomophagie**». De nombreux animaux, tels que les araignées, les lézards et les oiseaux sont entomophages, de même que de nombreux insectes. Depuis des millénaires, des hommes dans le monde entier consomment traditionnellement des insectes. Bien que cette pratique devrait être appelée «entomophagie humaine», dans cet ouvrage le mot entomophagie fait référence à la seule entomophagie humaine. Les premières mentions d'entomophagie remontent à la Bible; néanmoins, manger des insectes était, et est toujours, tabou dans de nombreuses sociétés occidentalisées. La nature non conventionnelle de l'entomophagie a en grande partie tenu à l'écart l'élevage des insectes pour l'alimentation humaine et animale des grandes innovations qui sont intervenues dans l'élevage du bétail au long des derniers siècles – à part quelques exceptions, comme les abeilles, les vers à soie et les cochenilles (dont on tire un colorant rouge). Les insectes n'ont également pas réussi à figurer dans les programmes des agences de recherche et de développement agricole du monde entier, y compris dans ceux de la FAO. Jusqu'à récemment les références aux insectes dans l'alimentation humaine et animale sont restées anecdotiques. Il n'est donc pas surprenant que les insectes soient toujours absents des menus des pays riches et que leur vente pour la consommation humaine et animale reste confinée au créneau alimentaire des nouvelles collations.

ENCADRÉ 1.1

**Les insectes, qu'est-ce que c'est?**

Le mot «insecte» vient du latin *insectum*, qui veut dire «avec un corps entaillé ou divisé», littéralement «coupé en tranches», du fait que le corps des insectes est divisé en trois parties. Pline l'Ancien a créé le mot en traduisant le mot grec ἔντομος (*entomos*) ou insecte (que l'on retrouve dans «entomologie», qui était le terme par lequel Aristote désignait cette classe du vivant) qui fait aussi référence à leur corps «entaillé». En français, le mot «insecte» est noté pour la première fois (selon Bordas dictionnaire) en 1542, trois ans après l'Ordonnance de Villers-Cotterêts (qui imposait la langue française au lieu du latin pour les textes officiels). En anglais, le mot «insect» est noté pour la première fois en 1601 dans la traduction de Pline par Holland (Harpe et McCormack, 2001).

La classe des insectes appartient à l'embranchement des arthropodes caractérisé par un exosquelette chitineux, un corps en trois parties (tête, thorax et abdomen), trois paires de pattes articulées, des yeux composés et deux antennes. Ils font partie des groupes d'animaux présentant la plus grande diversité: plus d'un million d'espèces ont été décrites, ce qui représente plus de la moitié des organismes vivants connus. Le nombre total d'espèces est estimé entre 6 et 10 millions, et la classe représente potentiellement plus de 90 pour cent des différentes formes de vie animale sur Terre. On trouve des insectes dans pratiquement tous les milieux, bien qu'un petit nombre d'espèces seulement vivent dans les océans, un habitat où domine un autre groupe d'arthropodes, les crustacés.

**Caractéristiques des insectes:**

- Les insectes ont un exosquelette qui les protège de l'environnement.
- Les insectes sont les seuls invertébrés pourvus d'ailes.

*Suite page suivante*

*Encadré 1.1 (suite)*

- Les insectes sont des animaux à sang froid.
- Les insectes subissent des métamorphoses qui leur permettent de s’adapter aux variations saisonnières.
- Les insectes se reproduisent rapidement et se présentent en populations abondantes.
- Le système respiratoire des insectes – des réseaux de tubes trachéens – est tolérant aux variations de la pression atmosphérique, ce qui leur permet de voler en haute altitude. Ils sont aussi tolérants aux radiations.
- Souvent, les insectes ne nécessitent pas de soins parentaux.

*Source:* Delong, 1960.

Néanmoins, la consommation d’insectes n’est pas un fait nouveau dans de nombreuses régions du monde. Des fourmis et larves de coléoptères – consommées par certaines tribus en Afrique et en Australie et entrant dans leur menu de base – aux très recherchés criquets et coléoptères frits et croustillants de Thaïlande, on estime que la consommation d’insectes est pratiquée régulièrement par au moins 2 milliards d’individus dans le monde. Plus de 1 900 espèces d’insectes sont citées comme comestibles dans la littérature, pour la plupart dans les pays tropicaux. Les groupes d’insectes les plus communément consommés sont les coléoptères, les chenilles, les abeilles, les guêpes, les fourmis, les sauterelles, les criquets, les grillons, les cigales, les cicadelles, les cochenilles, les punaises, les termites, les libellules et les mouches.

Cet ouvrage traite aussi d’autres espèces d’arthropodes qui sont mangées par les humains, telles que les araignées et les scorpions, qui, taxonomiquement parlant, ne sont pas des insectes.

## 1.1 POURQUOI MANGER DES INSECTES?

Globalement, l’entomophagie peut être promue pour trois raisons:

- Santé:
  - Les insectes sont des alternatives alimentaires saines pouvant s’intégrer aux aliments de base que sont la volaille, les porcs, les bovins et même les poissons (pêchés dans l’océan).
  - De nombreux insectes sont riches en protéines et en bons lipides, et possèdent de fortes teneurs en calcium, fer et zinc.
  - Les insectes font déjà traditionnellement partie de nombreux menus nationaux ou régionaux.
- Environnement:
  - Les insectes produits pour l’alimentation émettent considérablement moins de gaz à effet de serre (GES) que la plupart du bétail (le méthane, par exemple, n’est produit que par un petit nombre de groupes d’insectes comme les termites ou les cafards).
  - L’élevage des insectes n’est pas nécessairement lié à la terre et l’augmentation de la production ne requiert pas de défrichement de nouvelles terres. La production d’aliments pour les animaux est l’activité qui demande le plus de terres.
  - Les émissions d’ammoniac liées à l’élevage des insectes sont bien moins importantes que celles provoquées par l’élevage conventionnel, notamment celui des porcs.
  - Parce qu’ils sont à sang froid, les insectes convertissent très efficacement leurs aliments en protéines (les grillons, par exemple, nécessitent 12 fois moins d’aliments que les bovins, 4 fois moins que les ovins, et la moitié de ceux requis par les porcs et les poulets de chair pour produire la même quantité de protéines).
  - Les insectes peuvent être nourris avec des déjections organiques.

- Moyens de subsistance (facteurs sociaux et économiques):
  - La récolte et l'élevage des insectes demandent peu d'investissement technique et financier et sont accessibles même aux plus pauvres éléments de la société, tels que les femmes et les gens sans terre.
  - Le mini-élevage offre des opportunités de revenus aussi bien pour les ruraux que pour les citadins.
  - L'élevage des insectes peut être aussi bien à faible technicité que très sophistiqué, en fonction de l'investissement consenti.

## 1.2 POURQUOI LA FAO?

Depuis 2003, la FAO travaille sur des sujets en relation avec les insectes comestibles dans de nombreux pays à travers le monde. Les sujets traités par la FAO couvrent les thèmes suivants:

- acquisition et partage de connaissances au travers de publications, de réunions d'experts et de portails Internet sur les insectes comestibles;
- sensibilisation du grand public sur le rôle des insectes en collaboration avec les médias (p. ex.: journaux, magazines et télévision);
- appui aux pays membres par des projets de terrain (p. ex.: le Programme de coopération technique au Laos);
- constitution de réseaux et interactions multidisciplinaires (p. ex.: parties prenantes travaillant dans la nutrition, l'alimentation animale et les aspects juridiques liés) avec divers secteurs aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la FAO.

Quelques étapes parmi les plus importantes sont présentées ci-après.

### 1.2.1 Étude en République centrafricaine sur le rôle des chenilles

Le Programme des produits forestiers non ligneux du Département des forêts de la FAO a lancé en 2003 une étude sur la contribution des insectes comestibles au régime alimentaire des populations en Afrique centrale. Quatre études de cas et de nombreuses autres études ont été lancées en Afrique centrale et particulièrement dans le bassin du Congo du fait de la grande consommation d'insectes sauvages récoltés au sein d'importantes ressources forestières et d'écosystèmes riches en faune sauvage. Le rapport «*Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire: L'exemple des chenilles d'Afrique centrale*» a évalué le rôle des insectes comestibles dans l'alimentation et ainsi, initié un débat sur l'entomophagie en tant que coutume essentielle pour la sécurité alimentaire. Le résumé et les conclusions de ce rapport ont été pris en compte par l'Overseas Development Institute dans son *Document d'information sur les politiques de la faune sauvage*, qui a renforcé la sensibilisation des décideurs du secteur forestier et lors des discussions sur la crise de la viande de brousse, sur le rôle majeur que les insectes comestibles jouent dans la sécurité alimentaire des populations tributaires de la forêt.

### 1.2.2 Conférence de Chiang Mai, Thaïlande

En février 2008, le Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique a organisé un atelier international à Chiang Mai, Thaïlande, intitulé «Les insectes forestiers dans l'alimentation: L'Homme a du mordant». L'atelier a réuni des experts du monde entier en entomophagie, qui ont discuté plus spécifiquement des aspects scientifiques, de la gestion, de la collecte, du traitement, de la commercialisation et de la consommation des insectes forestiers comestibles, ainsi que des possibilités pour les populations locales de les élever. Le rapport de l'atelier de Chiang Mai visait à sensibiliser sur le potentiel des insectes forestiers comestibles comme ressource alimentaire, démontrer la contribution des insectes comestibles aux moyens de subsistance des populations et mettre en évidences les liens avec la conservation et l'aménagement des forêts.

### 1.2.3 Programme de coopération technique au Laos 2010-2013

Durant la période 2010-2013, la FAO a réalisé un projet de coopération technique en République démocratique populaire lao, intitulé «Récolte et élevage durable des insectes pour une meilleure alimentation, l'amélioration de la sécurité alimentaire et la création de revenus au niveau familial». Ce projet était une réponse immédiate aux diverses propositions identifiées par la Stratégie nationale de nutrition de la République démocratique populaire lao et par le Plan national d'action sur la nutrition qui ont été finalises et approuves en décembre 2009, à savoir, améliorer la ration alimentaire et aborder les causes sous-jacentes (par l'amélioration de l'accès à la nourriture, l'amélioration et la diversification de la production alimentaire domestique).

Le projet s'est attaché à renforcer le rôle déjà effectif des insectes comme aliments complémentaires dans les menus locaux, reconnaissant le rôle de la collecte traditionnelle dans la nature en renforçant la durabilité, la sécurité et la rentabilité de la récolte des insectes, de leur traitement après récolte et de leur consommation, ainsi que le développement de leur élevage.

### 1.2.4 Collaboration FAO–WUR

Suite à l'atelier international de Chiang Mai en 2008, le Programme des produits forestiers non ligneux du Département des forêts de la FAO et l'Université et Centre de recherche de Wageningen (WUR) (Laboratoire d'entomologie) ont initié une collaboration pour promouvoir l'entomophagie. La première étape a été la rédaction pour le Département des forêts de la FAO d'une note de politique intitulée «Promouvoir la contribution des insectes forestiers comestibles en confortant la sécurité alimentaire». Cette note exposait les grandes lignes de la stratégie à long terme de la FAO pour intégrer le Programme «Insectes comestibles» au Programme régulier de la FAO et de sensibiliser les organisations et agences nationales et internationales ainsi que les donateurs s'impliquant dans la sécurité alimentaire. En 2010, deux chercheurs et auteurs de ce document, Arnold van Huis et Joost Van Itterbeeck du WUR ont travaillé à la FAO pendant plusieurs mois. Une liste bibliographique des publications relatives aux insectes comestibles a été rédigée et une base de données sur les personnes ressources sur l'entomophagie dans le monde a été établie à partir d'un questionnaire largement diffusé. De plus, la rédaction du présent document a commencé parallèlement à la préparation et à la tenue d'une consultation internationale d'experts en janvier 2012.

### 1.2.5 Réunion d'experts

La réunion d'experts sur «l'Évaluation du potentiel des insectes dans l'alimentation animale et humaine et dans le renforcement de la sécurité alimentaire» s'est tenue du 23 au 25 janvier 2012 au siège de la FAO à Rome. Organisée conjointement par la FAO et le WUR avec le soutien financier du gouvernement des Pays-Bas, la réunion avait pour but d'ouvrir le dialogue et encourager l'échange d'information et d'expertise sur les bénéfices potentiels de l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale dans le cadre d'une stratégie plus large pour atteindre la sécurité alimentaire globale. Cinquante-sept experts venant d'agences internationales, d'institutions scientifiques et du secteur privé concerné, avec le personnel des disciplines concernées de la FAO (nutrition, aquaculture, élevage, sciences vétérinaires, sécurité des aliments, foresterie et conservation), ont participé à la réunion. Ces experts et entrepreneurs – spécialistes de divers aspects de l'élevage des insectes, de la protection des plantes et du génie alimentaire – ont fait le point sur l'état actuel des connaissances et les lacunes identifiées dans les domaines thématiques suivants: écologie et biologie des insectes; élevage des insectes; les insectes dans l'alimentation du bétail et des poissons; nutrition; transformation et commerce; sécurité des aliments pour l'homme et pour les animaux; stratégies de communication; et politiques pour atteindre la sécurité alimentaire.

### 1.2.6 Portail Web sur les insectes comestibles

La FAO entretient un portail Web sur les insectes comestibles depuis 2010. Il fournit des informations de base sur l'utilisation et le potentiel des insectes comestibles ainsi que sur les liens Web pertinents, comme celui vers le compte-rendu de l'atelier de Chiang Mai de 2008. Il fournit également des informations sur la consultation d'experts de Rome en 2012 ainsi que d'autres informations techniques pertinentes, des vidéos et autres couvertures médiatiques. L'adresse du portail est: www.fao.org/forestry/edibleinsects.

# 2. Rôle des insectes

## 2.1 APPORTS DES INSECTES À LA NATURE ET À L'HOMME

L'évolution, au cours des 400 millions d'années passées, a produit une grande variété d'espèces d'arthropodes adaptées à leurs environnements. Environ 1 million des 1,4 million d'espèces animales décrites sur terre sont des insectes, et on pense qu'il en existe des millions d'autres. Contrairement à la croyance populaire, sur le million d'espèces décrites seulement 5 000 sont considérées dangereuses pour les cultures, le bétail et les humains (Van Lenteren, 2006).

### 2.1.1 Bénéfices pour la nature

Les insectes fournissent de nombreux services écologiques fondamentaux pour la survie de l'humanité. Par exemple, les insectes jouent un rôle majeur dans la **reproduction des plantes**. On estime que 100 000 espèces pollinisatrices ont été identifiées et presque toutes (98 pour cent) sont des insectes (Ingram, Nabhan et Buchmann, 1996). Plus de 96 pour cent des 250 000 espèces de plantes à fleurs dépendent des pollinisateurs. Ceci est aussi vrai pour les trois quarts des 100 espèces cultivées qui génèrent la plus grande part de l'alimentation mondiale (Ingram, Nabhan et Buchmann, 1996). On estime que les abeilles domestiques pollinisent à elles seules 15 pour cent de ces espèces. L'importance de ce service écologique pour l'agriculture, et pour la nature en général, est incontestée.

ENCADRÉ 2.1

**Pullulations de la cicadelle brune du riz**

La cicadelle brune du riz *(Nilaparvata lugens)* provoque des dégâts considérables en suçant la sève des plants de riz, causant leur flétrissement puis leur mort. Elle transmet également trois maladies virales qui bloquent la croissance du riz et empêchent la formation des grains. Si des pesticides sont utilisés sans précaution, les insectes bénéfiques, prédateurs de la cicadelle, peuvent être tués. Ces insectes bénéfiques qui se nourrissent aux dépens des cicadelles maintiennent la population du parasite en dessous du niveau de pullulation. Cependant, lorsque cet équilibre est rompu, les pullulations de cicadelles se produisent.

Les insectes jouent un rôle aussi vital dans la **dégradation biologique des déchets**. Les larves de coléoptères, les mouches, les fourmis et les termites nettoient les matières végétales mortes, dégradant la matière organique jusqu'à ce qu'elle soit consommable par les champignons et les bactéries. De cette façon, les minéraux et les éléments nutritifs des organismes morts deviennent facilement disponibles dans le sol pour les plantes. Les cadavres des animaux, par exemple, sont consommés par les asticots et les larves de coléoptères. Les bousiers – dont il existe 4 000 espèces connues – jouent également un rôle important en décomposant les déjections animales. Ils peuvent coloniser une bouse dans les 24 heures, empêchant les mouches de se développer. Si la bouse reste à la surface du sol, environ 80 pour cent de l'azote retourne à l'atmosphère; la présence des bousiers, toutefois, signifie que le carbone et les éléments minéraux seront recyclés dans le sol, où ils se décomposeront davantage en humus pour les plantes. Quand les bovins ont été introduits en Australie en 1788, la dégradation biologique des déjections devint immédiatement un problème, car les bousiers endémiques étaient simplement

insuffisants pour décomposer les quantités croissantes de fumier. Les bousiers australiens s'étaient adaptés au fumier des marsupiaux (p. ex. des kangourous), qui diffère de celui des bovins sur de nombreuses caractéristiques dont la taille, la texture et la teneur en eau (Bornemissza, 1976). Le «Projet bousier australien» a été décidé pour résoudre ce problème et des bousiers ont été introduits en Australie à partir de l'Afrique du Sud, de l'Europe et d'Hawaï (sur les 46 espèces introduites, 23 se sont établies).

La faune bénéfique, y compris les insectes, renforce la résistance naturelle des agroécosystèmes. Les insectes nuisibles ont une large gamme d'ennemis, de prédateurs et de parasitoïdes qui les maintiennent en dessous des seuils économiques. Toutefois, en utilisant des insecticides, les insectes bénéfiques vulnérables peuvent être tués plus rapidement que l'insecte nuisible ciblé. Une des raisons de ce fait est que l'insecte cible est souvent mieux protégé (comme les foreurs des tiges par la tige ou les acariens par leur toile) que les insectes bénéfiques qui doivent aller chercher leur nourriture. Suite à une application de pesticide synthétique, dans un premier temps la population de l'insecte parasite visé décroît, puis dans un deuxième temps elle croît exponentiellement car elle peut alors se développer sans la contrainte des attaques des insectes bénéfiques. Un exemple notoire de ce phénomène est la pullulation de la cicadelle brune du riz provoquée par l'utilisation de pesticides (Encadré 2.1) (Heinrichs et Mochida, 1984).

Virtuellement tous les agroécosystèmes bénéficient des insectes car ils peuvent **naturellement lutter contre les espèces parasites nuisibles**. Le nombre d'insectes prédateurs ou parasites d'autres insectes est grand. Dix pour cent de tous les insectes sont des parasitoïdes (Godfray, 1994). Des ordres entiers d'insectes sont des prédateurs tels que les odonates (libellules) et les névroptères (planipennes tels que les chrysopes et les fourmilions). Un fort pourcentage des punaises (hémiptères), des coléoptères, des mouches (diptères) ainsi que des guêpes, abeilles et fourmis (hyménoptères) sont aussi des prédateurs. Le nombre d'espèces d'insectes bénéfiques dans un agroécosystème moyen est de loin beaucoup plus important que celui des espèces nuisibles. Par exemple, dans une étude réalisée dans un seul agroécosystème dans des rizières indonésiennes, Settle *et al.* (1996) ont dénombré 500 espèces d'insectes bénéfiques et 130 espèces nuisibles. 150 autres espèces ont été estimées «neutres» car elles n'attaquaient pas le riz, mais elles jouaient cependant un rôle majeur pour la survie des prédateurs lorsqu'il n'y avait pas de riz. Des coléoptères ont également été utilisés pour lutter contre les invasions de jacinthe d'eau. Des charançons (*Neochetina* spp.) importés d'Australie ont lutté efficacement contre la jacinthe d'eau dans le lac Victoria (Wilson *et al.*, 2007).

ENCADRÉ 2.2

**Produits courants issus des insectes et leur utilisation**

- Le carmin (colorant rouge foncé): cochenilles
- Miel: abeilles
- Gomme-laque (cire): divers hémiptères
- Pollinisation: divers insectes
- Propolis (médecine naturelle): abeilles
- Résiline (protéine élastomère: réparation des artères): puces humaines
- Gelée royale (produits de beauté): abeilles
- Soie: vers à soie
- Termitières cathédrales (modèles architecturaux): termites
- Venin (traitement de diverses maladies inflammatoires): abeilles
- Cire d'abeilles (cosmétique et bougies): abeilles

### 2.1.2 Rôles des insectes bénéfiques pour l'homme

En plus d'être des sources de nourriture, les insectes fournissent aux hommes une grande diversité de produits de valeur (Encadré 2.2). Le miel et la soie sont les produits les plus connus. Les abeilles produisent environ 1,2 million de tonnes de miel

commercialisable chaque année (FAO 2009b), tandis que les vers à soie produisent plus de 90000 tonnes de soie (Young-woo, 1999). Le carmin, un colorant rouge produit par des cochenilles (ordre des hémiptères), sert à colorer les aliments, les textiles et les produits pharmaceutiques. La résiline, une protéine élastique qui permet aux insectes de sauter, a été utilisée en médecine pour réparer les artères en raison de ses propriétés élastiques (Elvin *et al.*, 2005). Parmi les autres applications médicales on peut citer l'asticothérapie et l'utilisation des produits apicoles – comme le miel, la propolis, la gelée royale et le venin – dans le traitement des blessures traumatiques et infectées ainsi que les brûlures (van Huis, 2003a).

Les insectes ont aussi inspiré des méthodes d'ingénierie et des technologies. Les protéines de la soie des arthropodes (p. ex. des araignées) sont résistantes et élastiques et ont été utilisées comme matériel biologique (Lewis, 1992). La structure unique de la soie, sa biocompatibilité avec les organismes vivants, son rôle d'outil dans la fabrication de nouveaux matériaux et sa stabilité thermique ne sont que quelques-unes des qualités qui en font un matériau prometteur pour de nombreuses applications cliniques (Vapari et Kaplan, 2007). Par exemple, des chercheurs ont inséré le gène de la soie de l'araignée dans le génome de la chèvre de façon à ce que les chèvres produisent la protéine de la soie dans leur lait. Cette «soie de lait» pourrait alors servir à fabriquer du matériel filamenteux. Le chitosane, un matériau dérivé de la chitine qui constitue l'exosquelette des insectes, a également été considéré comme un biopolymère potentiel biodégradable et sophistiqué pour le conditionnement des aliments. Un tel emballage naturel utilisant la «peau» des insectes peut stabiliser le milieu qu'il enferme, protégeant le produit contre les éléments susceptibles de dégrader les aliments et contre les micro-organismes. En particulier, le chitosane peut contenir des antioxydants et possède des propriétés antimicrobiennes contre les bactéries, les moisissures et les levures (Cutter, 2006; Portes *et al.*, 2009). Cependant, le polymère chitosane est vulnérable à l'humidité et pourrait être inutilisable dans sa forme cent pour cent naturelle (Cutter, 2006). Les termitières cathédrales, leur réseau complexe de tunnels et leurs systèmes de ventilation constituent des modèles utiles pour construire des bâtiments dans lesquels la qualité de l'air, la température et l'humidité peuvent être régulées efficacement (Turner et Soar, 2008). Le fait de s'inspirer de la nature – ou plutôt de l'imiter – pour résoudre les problèmes humains, s'appelle **le biomimétisme**.

La branche de l'entomologie – ou étude scientifique des insectes – qui explore l'influence des insectes sur la culture (p. ex. la langue, la littérature, l'art et la religion) est appelée **entomologie culturelle** (Encadré 2.3) (Hogue, 1987). Les apports de cette branche ont contribué à souligner le rôle marqué des insectes dans la littérature (surtout dans les livres pour enfants), dans les films et dans les arts visuels, ainsi que leur existence comme objets de collection, d'ornementation et plus généralement d'inspiration pour l'expression créatrice.

ENCADRÉ 2.3

**Exemples d'entomologie culturelle**[2]

**1. Insectes ornementaux**

Les insectes sont des créatures fascinantes qui peuvent être facilement préparées et conservées pendant longtemps. Du fait que certains genres et certaines espèces, principalement parmi les coléoptères et les papillons, sont souvent de grandes dimensions et colorés, il n'est pas surprenant que les insectes soient devenus objets de collection. Les espèces présentant un intérêt commercial appartiennent pour la plupart à quelques familles de papillons et de

[2] La partie sur les insectes ornementaux de cet encadré a été rédigée par Benjamin Harink.

*Suite page suivante*

*Encadré 2.3 (suite)*

coléoptères. Alors que la majorité des insectes est toujours collectée dans la nature, de nombreux élevages de papillons élèvent des chenilles et vendent les chrysalides des espèces communes de papillon. L'élevage des insectes par des amateurs est une tendance récente (quelques décennies, tout au plus). Le marché de spécimens préparés et le nombre de collectionneurs semblent toutefois en diminution.

Le secteur public (p. ex. les parcs zoologiques et les jardins des papillons) est intéressé principalement par les espèces de papillon spectaculaires et de grandes dimensions. Ces espèces sont élevées dans des fermes dans des pays tropicaux et les nymphes sont expédiées sur le marché international[3]. Les prix à l'unité sont bas, de quelques centimes à quelques dollars EU. Ces fermes créent des emplois et procurent des revenus aux populations locales. En Papouasie-Nouvelle-Guinée, pays hôte du superbe genre des ornithoptères qui compte les plus grands papillons du monde, le gouvernement a activement promu l'élevage des insectes comme source de revenus pour les populations locales.

Les coléoptères et les autres insectes ne sont habituellement pas élevés dans leurs pays d'origine, mais plutôt par des éleveurs professionnels privés d'insectes tout autour du globe. Le Japon et Taïwan possèdent les plus fortes communautés de producteurs de coléoptères (principalement des Lucanidae, des Cetoniidae et des Dynastidae), avec une production industrielle de matériel d'élevage, plusieurs boutiques vendant des insectes dans les plus grandes villes et de nombreux magazines consacrés à l'élevage des coléoptères. Il y a cependant de bonnes opportunités d'élevage de ces insectes dans leurs pays d'origine, par exemple l'existence de sites adéquats pour leur élevage.

Les principaux défis auxquels le secteur des insectes ornementaux est confronté sont d'ordre législatif. Avec la diminution des surfaces forestières et l'extinction chaque jour de plusieurs espèces, de plus en plus d'espèces sont interdites à la commercialisation. Le second problème concerne les relations publiques: les collectionneurs d'insectes n'ont pas bonne réputation. Ils sont souvent critiqués pour leurs récoltes d'animaux vivants et les espèces exotiques qu'ils maintiennent captives comme animaux de compagnie. En outre, la peur croissante des espèces invasives complique le transport transfrontalier des animaux vivants. Dans un tel climat politique, il serait préférable de créer ou d'appuyer des agences nationales, comme l'Agence d'élevage et de commercialisation des insectes de Papouasie-Nouvelle-Guinée (Insect Farming and Trading Agency of Papua New Guinea), pour réguler le commerce des insectes et garantir un certain niveau de revenus pour les éleveurs et les récolteurs tout en encourageant la protection des forêts naturelles.

Une fois que leurs conditions d'élevage sont réunies, il est étonnant de voir combien il est facile d'élever de nombreuses espèces ornementales. Les éleveurs d'espèces ornementales peuvent fournir des idées pour accroître la liste des espèces bonnes pour la consommation humaine, comme, par exemple, les larves de Dynastidae qui peuvent atteindre 200 g pièce. Les coléoptères aquatiques peuvent être consommés aussi bien aux stades larvaires qu'au stade adulte (Ramos Elorduy, Pino and Martinez, 2008). Quelques espèces de Cetoniidae ont de forts taux de reproduction et de croissance et présentent de ce fait un grand potentiel pour l'alimentation humaine, en particulier parce que leurs larves sont riches en protéines. Ces protéines sont contenues dans une peau souple, ce qui réduit la quantité de chitine à éliminer. Néanmoins, le plus grand avantage de ces espèces ornementales est qu'elles se nourrissent de matières végétales en décomposition et de compost, identiques à ceux produits par les champignonnières. Le compost abandonné après la récolte des champignons serait un substrat idéal pour alimenter les larves de coléoptères pour la production de protéines. Ceci ne crée d'ailleurs aucune compétition avec une quelconque autre source alimentaire pour l'homme. En outre, les excréments produits par les larves constituent un

---

[3] Pour obtenir une liste des fermes de production de papillons, adressez-vous à «International Association of Butterfly Exhibitors».

*Suite page suivante*

*Encadré 2.3 (suite)*

excellent engrais qui contribue à la rétention de l'humidité par le sol pour les plantes. Une collaboration étroite entre les éleveurs d'insectes amateurs et les personnes intéressées par l'utilisation alimentaire des insectes est donc souhaitable, dans l'espoir que de nouvelles espèces plus adaptées que celles couramment utilisées soient découvertes.

**2. Grillons chanteurs**

Garder des grillons domestiques et des grillons champêtres comme animaux de compagnie est une tradition séculaire dans les cultures asiatiques et même dans certaines sociétés occidentales. Ces insectes sont cités pour la première fois dans une épigramme remontant à 600 AEC dans la Grèce antique, et qui faisait référence à une jeune fille et à son grillon agonisant. De nombreux autres poèmes ont été écrits depuis, particulièrement sur le chant des grillons (Weidner, 1952).

En Chine, les grillons chanteurs sont apparus comme animaux de compagnie il y a plus de 2000 ans. À l'époque de la dynastie Tang (618-906 EC), les grillons étaient gardés en cages pour écouter leurs chants:

> À l'arrivée de l'automne, les dames du palais attrapent des grillons et les gardent dans de petites cages dorées, qu'elles placent près de leur oreiller pour entendre leurs chants durant la nuit. Cette coutume fut également copiée par les gens du peuple (Kai Yuan Tian Boa Yi Shi, *Affaires de la Période de Tian Bao*, 742-759 EC).

**3. Combats de grillons**

Les combats de grillons ont prospéré comme divertissement populaire sous la dynastie Song (960-1278 EC). Cette pratique a été interdite pendant la dynastie Qing (1644-1911 EC), et les combats de grillons sont devenus clandestins. De nos jours, les combats de grillons sont de nouveau répandus, quoique surtout dans les grandes villes comme Shanghai, Pékin, Tianjin, Guangzhou et Hong Kong où il existe des clubs et des sociétés de combat de grillons. Avec l'émigration d'une diaspora chinoise vers d'autres parties du monde, on trouve des combats de grillons dans des villes comme New York et Philadelphie (Xing-Bao and Kai-Ling, 1994)

Cependant, les combats de grillons ont un côté négatif, car la collecte abusive a provoqué d'importants problèmes. Dans la seule ville de Shanghai, il y a 300 000 à 400 000 amateurs de combats de grillons, et environ 90 pour cent d'entre eux parient sur ces combats. Les grillons sont devenus de moins en moins abondants autour des grandes villes de Chine. Des dégâts dans les jardins potagers périurbains ont même été signalés, provoqués par des récolteurs à la recherche de grillons. Pour plus d'information voir aussi Ryan (1996) et Costa-Neto (2003).

*Source:* Jin, 1998.

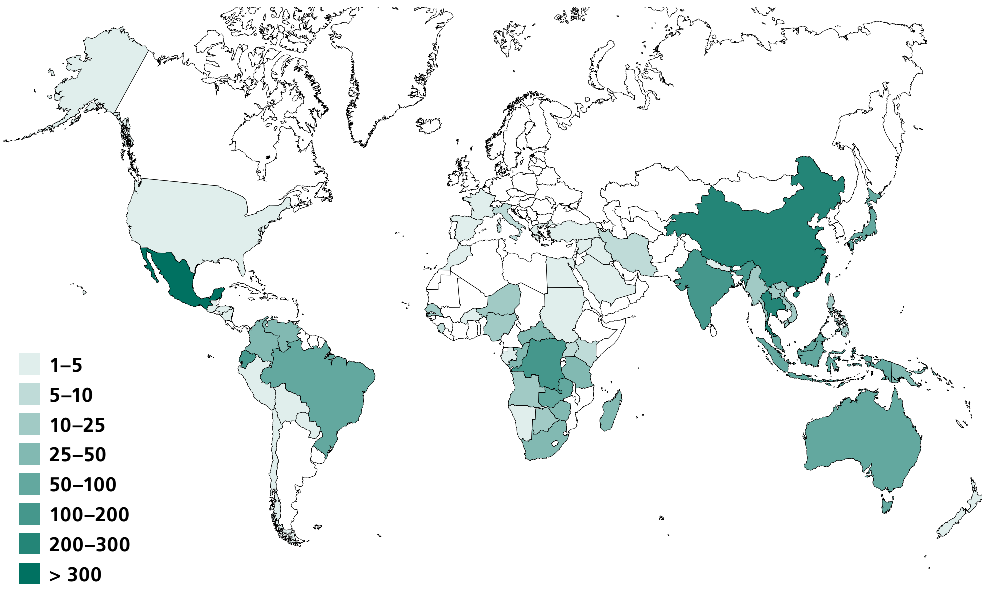
## 2.2 L'ENTOMOPHAGIE DANS LE MONDE

### 2.2.1 Nombre d'espèces d'insectes comestibles identifiées

Donner des chiffres définitifs sur le nombre d'espèces d'insectes comestibles pour le monde entier est difficile pour plusieurs raisons. Premièrement, une personne non initiée ne peut pas décrire un insecte selon la classification de Linné, ce qui rend difficile les évaluations officielles. Les choses se compliquent par l'utilisation dans de nombreuses cultures de plusieurs noms vernaculaires pour une même espèce d'insecte. En utilisant seulement les noms latins et en effectuant les corrections nécessaires pour les synonymes, Yde Jongema du WUR a entrepris un inventaire au niveau mondial en utilisant la littérature, y compris dans les pays occidentaux et les zones tempérées.

En avril 2012, sa liste comportait 1 900 espèces d'insectes comestibles. Des estimations plus basses existent. DeFoliart (1997) a compté «moins de» 1 000 espèces, alors que Ramos Elorduy (2005) en comptait «au moins» 1 681 espèces. Des estimations régionales et nationales ont également été faites: van Huis (2005) a identifié 250 espèces comestibles en Afrique; Ramos Elorduy *et al.* (2005) ont noté 549 espèces au Mexique (bien que Cerritos, 2009, n'en ait noté que 177 dans ce pays); en Chine, Chen *et al.* (2009) ont répertorié 170 espèces; Young-Aree et Viwatpanich (2005) ont noté 164 espèces en République démocratique populaire lao, au Myanmar, en Thaïlande et au Viet Nam; enfin Paoletti et Dufour (2005) ont estimé que 428 espèces étaient consommées dans le bassin amazonien (Figure 2.1).

FIGURE 2.1
**Nombre d'espèces d'insectes comestibles enregistrées par pays**



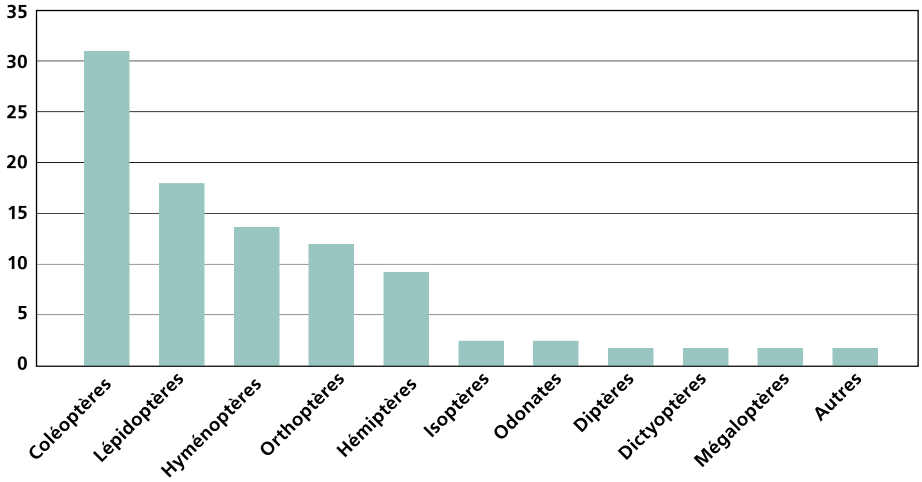

*Source:* Centre de Géo-Information, Université de Wageningen, d'après données compilées par Jongema, 2012.

### 2.2.2 Principaux groupes d'insectes comestibles

Globalement, les insectes les plus communément consommés[4] sont les coléoptères (31 pour cent) (Figure 2.2). Ceci n'est pas surprenant car ce groupe comprend environ 40 pour cent de toutes les espèces d'insectes connues. La consommation de chenilles (lépidoptères), très populaire en Afrique subsaharienne (Encadré 2.4) est estimée à 18 pour cent. Les abeilles, guêpes et fourmis (hyménoptères) viennent en troisième position avec 14 pour cent (ces insectes sont particulièrement communs en Amérique latine). Ensuite viennent les sauterelles, criquets et grillons (orthoptères) (13 pour cent); les cigales, cicadelles, cochenilles et punaises (hémiptères) (10 pour cent), les termites (isoptères) (3 pour cent), les libellules (odonates) (3 pour cent), les mouches (diptères) (2 pour cent) et des insectes appartenant à d'autres ordres (5 pour cent). Les lépidoptères sont presque tous consommés au stade chenille et les hyménoptères sont, pour la plupart, consommés au stade de larve ou de nymphe. Les adultes et les larves de coléoptères sont tous deux consommés, alors que les orthoptères, homoptères, isoptères et hémiptères sont principalement consommés au stade adulte (Cerritos, 2009).

[4] Ne pas confondre avec la fréquence de consommation des insectes dans certains groupes.

FIGURE 2.2
**Nombre d'espèces d'insectes, par ordre, consommées dans le monde**




*Note:* nombre total = 1909. *Source:* Jongema, 2012.

ENCADRÉ 2.4
**Exemple de diversité nationale des insectes comestibles: espèces consommées en République centrafricaine**

Concernant les insectes les plus consommés, il existe une grande diversité entre continents, pays et communautés. Par exemple, on estime que 96 espèces d'insectes sont consommées en République centrafricaine. Les orthoptères (criquets et sauterelles) sont la classe la plus consommée (40 pour cent), suivis par les lépidoptères (chenilles) (36 pour cent), les isoptères (termites) (10 pour cent), les coléoptères (6 pour cent) et les autres insectes tels que les cigales et les grillons (8 pour cent).

*Source:* Roulon-Doko, 1998.

### *Coléoptères*

Il existe une grande diversité de coléoptères comestibles, y compris les coléoptères aquatiques, les larves foreuses du bois et les bousiers (larves et adultes). Ramos Elorduy, Pino et Martinez-Camacho (2009) ont recensé 78 espèces de coléoptères aquatiques comestibles, appartenant principalement aux familles des Dytiscidae, Gyrinidae et Hydrophilidae. Typiquement, seules les larves de ces espèces sont consommées. Le coléoptère le plus communément consommé, et de loin, sous les tropiques est *Rhynchophorus*, le charançon du palmier, un insecte gravement nuisible aux palmiers largement répandu d'un bout à l'autre de l'Afrique, dans le sud de l'Asie et en Amérique du Sud. Le charançon du palmier *R. phoenicis* est trouvé en Afrique tropicale et équatoriale (voir dans l'encadré 2.5 l'utilisation du son dans la récolte des larves), *R. ferrugineus* en Asie (Indonésie, Japon, Malaisie, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Philippines et Thaïlande) et *R. palmarum* en Amérique tropicale (Amérique centrale, Caraïbes, Mexique et Amérique du Sud).

Aux Pays-Bas, les larves de coléoptères de la famille des Tenebrionidae, ou vers de farine telles que le ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*), le petit ténébrion (*Alphitobius diaperinus*) et le ténébrion géant (*Zophobas morio*), sont élevées pour nourrir les reptiles, les poissons et les oiseaux de compagnie. Elles sont aussi considérées particulièrement adaptées à la consommation humaine et sont disponibles dans des boutiques d'alimentation spécialisées.

ENCADRÉ 2.5

**Récolte des larves d'insectes en écoutant le bruit qu'elles émettent**

Au Cameroun, ce sont en général les femmes qui sont chargées de récolter les larves de coléoptères. Elles détectent les larves dans les palmiers en collant l'oreille contre l'arbre et écoutant le bruit qu'elles font en rongeant les fibres. Cette méthode est couramment utilisée pour déterminer le moment optimal de la récolte du stade (de développement) le plus prisé de la larve de *Rhinchophorus*. En République démocratique du Congo, la même méthode est utilisée pour récolter les larves comestibles de charançons, capricornes et scarabées que l'on trouve dans les stipes vivants ou morts des palmiers *Elaeis*, *Raphia*, *Chamaerops* et *Cocos nucifera* (Ghesquière, 1947).

*Source:* van Huis, 2003b.

### *Lépidoptères (papillons)*

Les papillons sont typiquement consommés au stade larvaire (c'est-à-dire sous forme de chenilles), mais les adultes (papillons, papillons de nuit) sont aussi consommés. Il a été signalé que les Aborigènes d'Australie mangent les papillons du ver-gris *Agrotis infusa* (la noctuelle Bogong) (Flood, 1980) et, en République démocratique populaire lao, la consommation de papillons sphinx (*Daphnis* spp. et *Theretra* spp.) après avoir retiré les ailes et les pattes a été observée (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Néanmoins, cette coutume est rare.

La chenille mopane (*Imbrasia belina*) est incontestablement la chenille consommée la plus commune et la plus importante économiquement. Endémique dans les formations boisées à mopane (*Colophospermum mopane*) de l'Angola, du Botswana, du Mozambique, de Namibie, de la République d'Afrique du Sud, de Zambie et du Zimbabwe, l'aire de répartition de la chenille s'étend sur plus de 384 000 $km^2$ de forêts (FAO, 2003). On estime que 9,5 milliards de chenilles mopane sont récoltées chaque année dans le sud de l'Afrique, activité évaluée à 85 millions de dollars EU (Ghazoul, 2006). D'autres chenilles sont aussi consommées, mais à plus petite échelle. Malaisse (1997) a identifié 38 espèces différentes de chenilles en traversant la République démocratique du Congo, la Zambie et le Zimbabwe. Latham (2003) a recensé 23 espèces comestibles dans le Bas-Congo, une province de l'ouest de la République démocratique du Congo.

ENCADRÉ 2.6

**Les vers du maguey**

Les vers rouges du maguey – chenilles du papillon *Comadia redtenbacheri* – et les vers blancs du maguey – chenilles du papillon *Aegiale hesperialis* – sont récoltés dans le centre du Mexique sur les feuilles de *Agave hesperialis*. Lorsqu'elles sont à leur dernier stade, les chenilles, très nutritives, sont considérées comme des friandises par les agriculteurs mexicains. En général, elles sont consommées frites ou braisées, avec une sauce épicée et servies dans une tortilla. Avec les larves de charançon de l'agave (*Scyphophorus acupunctatus*), les vers rouges du maguey forment une des variétés de gusano (chenilles) que l'on trouve dans les bouteilles de mezcal (une boisson alcoolisée obtenue par distillation à partir des plants de maguey, *Agave americana*) dans l'État de Oaxaca au Mexique. Les gusanos sont tellement recherchés que les producteurs de mezcal doivent protéger les plantations d'agaves par des gardiens, contre les braconniers.

*Source:* Ramos Elorduy *et al.*, 2007.

La récolte des chenilles n'est pas une exclusivité de l'Afrique. En Asie, la chenille du bambou (*Omphisa fuscidentalis*), aussi connue sous les noms de foreuse du bambou et ver du bambou, est un mets populaire encouragé par le Département thaï des forêts du Ministère de l'agriculture et par des coopératives comme source croissante et viable de revenus (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005). Dans l'État de Chiapas au Mexique, on pense que les populations locales consomment jusqu'à 27 espèces de chenilles (Encadré 2.6).

***Hyménoptères (guêpes, abeilles et fourmis)***

Les fourmis sont des friandises très recherchées dans de nombreuses régions du monde (Rastogi, 2011; Del Toro, Ribbons et Pelini, 2012). Elles rendent en outre d'importants services écologiques, notamment dans la chaîne alimentaire, et sont prédatrices des insectes nuisibles dans les vergers, bien que des effets négatifs aient été également notés (Del Toro, Ribbons et Pelini, 2012). La fourmi tisserande (*Oecophylla* spp.) est utilisée comme agent de lutte biologique sur plusieurs cultures, comme les mangues (Van Mele, 2008). Les larves et les nymphes des formes reproductives (couvain royal), appelées aussi œufs de fourmi, constituent un aliment apprécié en Asie (voir la section 4.5.1). En Thaïlande les œufs de fourmi sont commercialisés en boîtes de conserve. Shen, Li et Ren (2006) ont signalé une fourmi tisserande noire (*Polymachis dives*) largement distribuée dans le sud-est subtropical de Chine, au Bangladesh, en Inde, en Malaisie et au Sri Lanka. Elle constitue un ingrédient nutritionnel dans divers aliments toniques et produits de santé disponibles sur le marché chinois. Depuis 1996, l'Administration d'État de l'alimentation et du médicament et le Ministère de la santé chinois ont autorisé plus de 30 produits de santé contenant des fourmis.

Au Japon, les larves de guêpes jaunes (*Vespula* et *Dolichovespula* spp.), appelées localement hebo, sont couramment consommées. Lors du Festival Hebo annuel, les produits alimentaires préparés à partir des larves de guêpes sont des friandises tellement appréciées (Nonaka, Sivilay et Boulidam, 2008) que l'approvisionnement local ne suffit pas et que des importations de l'Australie et du Viet Nam sont nécessaires pour répondre à la demande (K. Shono, communication personnelle, 2012). L'encadré 2.7 présente quelques informations générales sur les abeilles.

Un inventaire réalisé par Ramos Elorduy et Pino (2002) au Chiapas (Mexique) a montré que les espèces d'insectes consommées dans cet État (67) appartenaient pour la plupart à l'ordre des hyménoptères, et que deux espèces de fourmis coupeuses de feuilles (*Atta mexicana* et *A. cephalotus*) y sont de plus en plus commercialisées. Plus au sud, il a été observé que les Amérindiens consomment des fourmis du genre *Atta* (Dufour, 1987). Les colonies des espèces *Atta* peuvent compter plus de 1 million d'ouvrières, et certaines jusqu'à 7 millions. Leur impact sur la végétation dans les régions néotropicales a été estimé comparable à celui des gros mammifères herbivores sur la savane africaine. De ce fait, on considère qu'une grosse colonie de fourmis coupeuses de feuilles exerce une pression comparable à celle d'une vache (Hölldober et Wilson, 2010).

ENCADRÉ 2.7

**L'apiculture dans le monde**

La contribution des abeilles à la nature et à l'agriculture est bien documentée (Bradbear, 2009), mais leur énorme potentiel de contribution directe à l'alimentation humaine est moins compris (Chen *et al.*, 1998). Un petit nombre d'études a montré que le couvain (œufs, larves et nymphes) et les adultes de nombreuses familles d'abeilles sont comestibles, y compris les Bombycidae, les Meliponidae et les Apidae (Banjo, Lawal et Songonuga, 2006;

*Suite page suivante*

*Encadré 2.7 (suite)*

Ramos Elorduy, 2006). Une analyse nutritionnelle détaillée conduite par Finke (2005) a montré que le couvain d'abeille (probablement *Apis mellifera*) est une excellente source d'énergie, d'acides aminés, de minéraux essentiels et de vitamines B.

Les insectes nidificateurs, tels que les abeilles mellifères, se prêtent elles-même facilement à la semi-domestication: les abeilles peuvent être attirées dans un nid disposé à certains endroits et leurs ruches peuvent, par exemple, être replacées près des habitations. Ces techniques ont été largement appliquées mondialement depuis longtemps (DeFoliart, 1995) en Amérique centrale, elles remontent à la civilisation Maya (Villanueva, Roubik et Colli-Ucan, 2005). Coletto-Silva (2005) rapporte une méthode ingénieuse pour recueillir des colonies d'abeilles sans aiguillon (*Melipona* spp.) et démarrer une «méliponiculture» sans détruire l'arbre hôte: l'arbre est ouvert, la colonie récoltée et puis l'arbre est refermé avec de la résine naturelle.

Autres données sur les abeilles:

- Avec les guêpes, les abeilles mellifères *(Apis mellifera)* sont les insectes alimentaires les plus importants dans le nord de la Thaïlande. Le couvain d'abeille figure couramment dans les menus locaux et il est très recherché sur les marchés; de ce fait, il est souvent cher (Chen *et al.*, 1998).
- Au Malawi, l'apiculture est trois fois plus rentable que la culture du maïs, la culture de base (Munthali et Mughogho, 1992).
- En Australie, la ruche (dénommée «sac à miel» ou «sac à sucre») des abeilles locales sans aiguillon (*Trigona* spp.) est une source de sucre recherchée par les Aborigènes (Cherry, 1991; O'Dea *et al.*, 1991).
- Les insectes sont des animaux à sang froid.
- Les insectes subissent des métamorphoses qui leur permettent de s'adapter aux variations saisonnières.
- Les insectes se reproduisent rapidement et se présentent en populations abondantes.
- Le système respiratoire des insectes – des réseaux de tubes trachéens – est tolérant aux variations de la pression atmosphérique, ce qui leur permet de voler en haute altitude. Ils sont aussi tolérants aux radiations.
- Souvent, les insectes ne nécessitent pas de soins parentaux.

*Source:* Delong, 1960.

### *Orthoptères (criquets, sauterelles et grillons)*

Environ 80 espèces de sauterelles sont consommées dans le monde, et la grande majorité des espèces de sauterelles est comestible. Les criquets peuvent apparaître en essaims, ce qui les rend particulièrement faciles à récolter. En Afrique, le criquet pèlerin, le criquet migrateur, le criquet nomade et le criquet brun sont consommés. Cependant, du fait de leur statut d'insectes nuisibles pour l'agriculture, ils peuvent être traités par pulvérisation d'insecticides lors de programmes gouvernementaux de lutte ou par les agriculteurs. Par exemple, des concentrations relativement élevées de résidus de pesticides organophosphorés ont été détectées dans des criquets ramassés pour être consommés au Koweït (Saeed, Dagga et Saraf, 1993).

Les sauterelles et les criquets sont en général récoltés le matin lorsque la température est plus fraîche (et les insectes étant des animaux à sang froid, lorsqu'ils sont relativement immobiles). À Madagascar, un dicton énonce: «*Comment pourriez-vous attraper les sauterelles pondeuses et faire la grasse matinée en même temps?*». À Oaxaca, la récolte des chapulines (sauterelles comestibles du genre *Sphenarium*) n'a lieu que très tôt le matin (04 h 00 – 05 h 00) (Cerritos et Cano-Santana, 2008) car les chapulines sont trop actives et difficiles à attraper aux heures plus chaudes de la journée (Cohen, Sanchez et Montiel-ishinoet, 2009).

Au Niger, pays de l'Afrique de l'Ouest, il n'est pas rare de trouver des sauterelles en vente dans les marchés ou comme snack sur le bord de la route. Fait remarquable, les

chercheurs ont montré que les sauterelles récoltées dans un champ de millet rapportaient plus sur le marché local que le millet (van Huis, 2003b).

La chapuline est probablement la sauterelle comestible la mieux connue en Amérique latine. Cette petite sauterelle a fait partie du régime alimentaire local depuis des siècles et est toujours consommée dans certaines parties du Mexique. Les vallées de l'État de Oaxaca sont particulièrement renommées pour la consommation de chapulines. Nettoyées et grillées avec un peu d'huile et d'ail, du citron et du sel pour exalter l'arôme, elles sont un ingrédient alimentaire non seulement pour les communautés autochtones, mais aussi pour la population urbaine de la ville d'Oaxaca (Cohen *et al.*, 2009). Les chapulines sont brachyptères, ce qui veut dire qu'elles ont des ailes réduites, non fonctionnelles. *Sphenarium purpurascens* est nuisible à la luzerne mais aussi c'est l'un des principaux insectes comestibles du Mexique. Les récolteurs utilisent des filets coniques (environ 80 cm de diamètre et 90 cm de profondeur) sans poignée et frappent légèrement les plants de luzerne, permettant à chaque famille locale d'obtenir environ 50 à 70 kg de sauterelles chaque semaine (Cerritos et Cano-Santana, 2008). Les chapulines occupent une place importante sur les petits marchés locaux ainsi que dans les restaurants et sur les marchés d'exportation. Malgré la valeur nutritionnelle et culturelle des chapulines, des études récentes ont montré que ces sauterelles peuvent contenir des taux élevés et parfois dangereux de plomb (Cohen, Sanchez et Montiel-ishinoet, 2009).

En Asie, les grillons *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis* et *T. mitratus* sont récoltés dans la nature et couramment consommés comme aliment. Le grillon domestique *(Acheta domesticus)* est élevé et également communément consommé, en particulier en Thaïlande, où il est préféré aux autres espèces du fait de son corps tendre. Dans une étude réalisée en Thaïlande en 2002, 53 des 76 provinces avaient des fermes d'élevage de grillons (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005). En 2012, il y avait 22000 éleveurs de grillons en Thaïlande. De plus, la consommation du grillon à queue courte *(Brachytrupes portentosus)*, qui a un corps de grandes dimensions et une grosse tête, est aussi très appréciée. Cependant, cette espèce ne peut pas être élevée et, de ce fait, elle est uniquement prélevée dans la nature (Y. Hanboonsong, communication personnelle, 2012).

Malgré la pratique répandue de l'élevage des insectes, seules deux espèces de grillons comestibles (*Gryllus bimaculatus* et *Acheta domesticus*) sont élevées de façon économiquement rentable. D'autres espèces, comme *Tarbinskiellus portentosus*, ne peuvent pas être élevées en raison de leur long cycle biologique. Toutefois, des signes de changement apparaissent en République démocratique populaire lao et au Cambodge: les commerçants disent maintenant que les consommateurs préfèrent les grillons d'élevage car ils ont meilleur goût que ceux récoltés dans la nature (P. Durst, communication personnelle, 2012).

#### *Homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles), un sous-ordre des hémiptères*

Au Malawi, plusieurs espèces de cigales (*Ioba*, *Platypleura* et *Pycna*) sont des aliments extrêmement appréciés. Les cigales sont récoltées sur le tronc des arbres à l'aide de longues tiges de roseau (*Phragmites mauritianus*) ou d'herbes (*Pennisetum purpureum*) enduites d'une substance collante, telle que le latex obtenu d'un arbre, *Ficus natalensis*. Le latex adhère aux ailes des cigales, ailes qui sont enlevées avant consommation. Certains homoptères fournissent des produits qui sont couramment consommés par l'homme, comme le colorant carmin (un pigment rouge vif, référencé E 120) extrait de la cochenille du cactus (*Dactylopius coccus*) souvent utilisé comme colorant alimentaire. Les hommes consomment aussi du «lerp», la sécrétion sucrée, cristallisée, produite par les larves de psylles comme écran de protection. En Afrique du Sud, par exemple, on consomme le psylle (*Arytaina mopane*) qui se nourrit de la sève du phloème de l'arbre mopane (*Colophospermum mopane*). Le plus grand nombre de psylles producteurs de lerp est trouvé en Australie sur *Eucalyptus* spp. Les Aborigènes australiens récoltent le lerp comme aliment sucré (Yen, 2005). Pour plus d'information sur le lerp voir la section 2.4.3.

***Hétéroptères (punaises), sous-ordre des Hémiptères***
Les punaises pentatomides sont consommées dans une large partie de l'Afrique subsaharienne, surtout en Afrique australe (voir la section 2.4.4). En République du Soudan, le pentatomide *Agonoscelis versicolor*, un insecte nuisible au mil pluvial qui provoque des dégâts importants, est consommé grillé. De l'huile également préparée à partir de cet insecte est utilisée dans la préparation des aliments et pour traiter les chameaux contre la gale (van Huis, 2003a).

Toutefois, les pentatomides comestibles sont pour la plupart aquatiques. Le fameux caviar mexicain ahuahutle, est composé des œufs de pas moins de sept espèces[5] d'hémiptères aquatiques (familles des Corixidae et des Notonectidae); ces insectes constituent depuis des siècles le soutien de l'élevage en milieu aquatique, ou aquaculture, au Mexique (Encadré 2.8). L'élevage extensif de ces espèces est simple et bon marché car il peut être réalisé en utilisant les pratiques traditionnelles locales (Parsons, 2010) (voir chapitre 4). Ces insectes peuvent atteindre des prix élevés, particulièrement pendant la *Semana Santa* (la semaine précédant Pâques). Cependant, l'élevage extensif des hémiptères est menacé par la pollution et l'assèchement des zones humides (Ramos Elorduy, 2006).

ENCADRÉ 2.8
**Ahuahulte, le caviar mexicain**

Dans *Historia de las cosas de la Nueva España*, Sahugan (1557) indiquait qu'à la cour de l'Empereur Montezuma et des rois aztèques qui l'ont précédé avant le X^e siècle, l'ahuahulte était spécialement préparé lors des cérémonies dédiées au dieu Xiuhtecutli. Des coureurs indigènes apportaient l'ahuahulte de Texcoco à Tenochtitlan afin que l'Empereur puisse le déguster frais à son petit déjeuner. Sahugan l'appelait aoauhtli ou ahuauhtli et notait que le nom commun utilisé par le peuple était aguaucle, ce qui veut dire «graines de l'eau». Il indiquait aussi que les œufs qui étaient pondus en nombre infini à la surface des eaux stagnantes par des mouches, étaient vendus sur les marchés de Texcoco et des autres villages voisins.

*Source:* Bachstez et Aragon, 1945.

***Isoptères (termites)***
Les espèces de termites les plus communément consommées sont les espèces de grande taille du genre *Macrotermes*. Les termites ailés émergent de trous près de la termitière, après la chute des premières pluies à la fin de la saison sèche. van Huis (2003b) a observé en Afrique que les populations locales frappaient le sol autour des termitières cathédrales (simulant ainsi le battement d'une pluie intense) pour provoquer l'émergence des termites.

Les plus gros termites consommés en Amazonie appartiennent aux espèces du genre *Syntermes*. Ils sont récoltés en introduisant une nervure de feuille de palmier dans les galeries de la termitière; les termites soldats mordent cette nervure et sont ainsi pêchés hors des galeries (Paoletti *et al.*, 2003; Paoletti et Dufour, 2005). Pour plus d'informations sur les termites, voir la section 2.3.3.

### 2.2.3 Où et quand les insectes sont-ils consommés?
La fréquence de consommation des insectes dans le monde est très peu documentée. Les rares exemples trouvés dans la littérature proviennent d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

[5] *Corisella mercenaria* (Say), *C. texocana* (Jacz), *Krizousacorixa femorata* (Guér), *K. azteca* (Jacz), *Graptocorixa abdominalis* (Say), *G. bimaculata* (Guér) (Hemiptera-Corixidae) et *Notonecta* spp. (Hemiptera-Notonectidae).

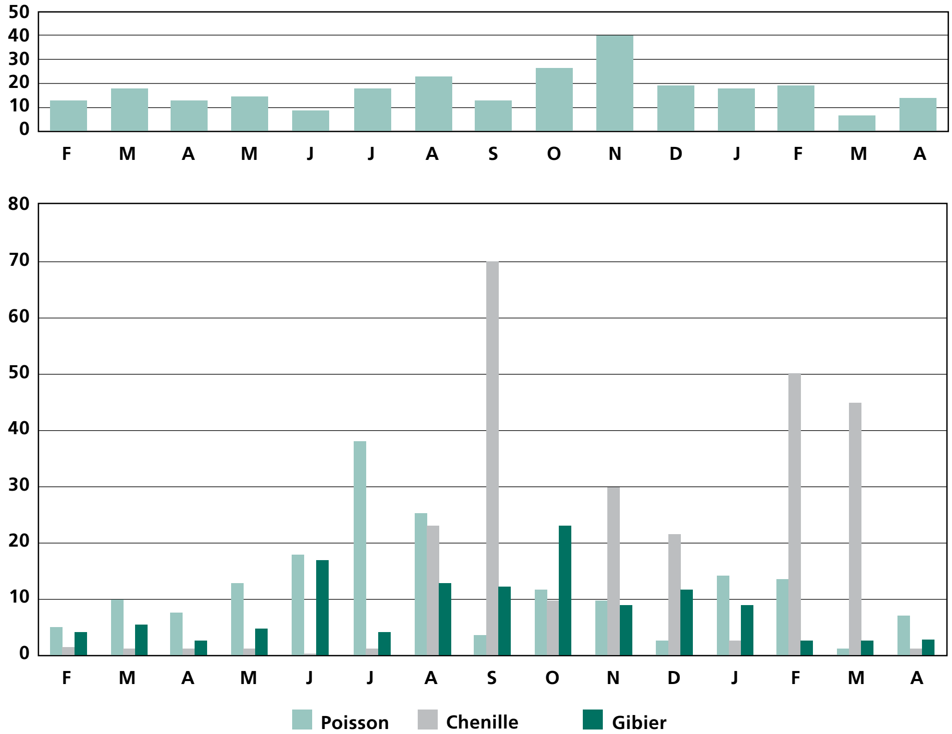
### *Afrique*

On trouve des insectes en abondance sur tout le continent africain et quand les vivres de base viennent à manquer, ils deviennent une importante ressource alimentaire. Pendant la saison des pluies – lorsque la chasse ou la pêche deviennent problématiques – les insectes jouent un rôle majeur dans la sécurité alimentaire. Les chenilles sont particulièrement recherchées pendant la saison des pluies, bien que leur disponibilité puisse varier dans un même pays en fonction des conditions climatiques (Vantomme, Gohler et N'Deckere-Ziangba, 2004); le tableau 2.1 montre l'abondance saisonnière des chenilles en Afrique centrale.

L'abondance saisonnière et la consommation des insectes qui y est liée, ont été étudiées par Takeda et Sato (1993). Une étude réalisée dans la forêt tropicale humide de la République démocratique du Congo montre la remarquable débrouillardise du peuple Ngandu qui règle sa nourriture sur les disponibilités saisonnières: plantes cultivées et récoltées dans la nature, champignons, mammifères, oiseaux, poissons, reptiles et insectes. Une étude antérieure réalisée dans le même pays a montré que la disponibilité des chenilles était fortement corrélée à une diminution de celle des poissons et du gibier (Pagezy, 1975) (Figure 2.3).

FIGURE 2.3

**Pluviométrie mensuelle (en haut) en fréquence mensuelle des repas à base de poisson, chenille et gibier, sur quinze mois consécutifs dans la région du lac Tumba en République démocratique du Congo**




*Source:* Pagezy, 1975.

Les marchés de Kinshasa, la capitale de la République démocratique du Congo, se targuent d'une disponibilité abondante de chenilles tout au long de l'année, et un ménage moyen à Kinshasa consomme 300 g de chenilles par semaine. On estime que 96 tonnes de chenilles sont consommées annuellement dans la ville (Kitsa, 1989). La consommation de chenilles mopane dépasse de loin celle d'autres chenilles: on estime que 70 pour cent des 8 millions d'habitants de Kinshasa mangent des chenilles, à la fois pour leur valeur nutritionnelle et pour leur goût (Vantomme, Gohler et N'Deckere-Ziangba, 2004).

Les chenilles constituent aussi une importante source de protéines pendant la saison des pluies (juillet à octobre) en République centrafricaine (Bahuchet, 1975; Bahuchet et Garine, 1990), en particulier pour les Pygmées. Pendant la saison des pluies, la consommation moyenne est estimée à 42 chenilles fraîchement récoltées par personne et par jour. La consommation pendant le reste de l’année est beaucoup plus basse, bien que les insectes soient disponibles tout au long de l’année, séchés fumés (voir Figure 2.3). Il a été constaté que le peuple autochtone Gbaya consommait 96 espèces différentes d’insectes qui lui apportent jusqu’à 15 pour cent de sa ration protéinique (Roulon-Doko, 1998).

Dans certains endroits, la consommation d’insectes est corrélée à la disponibilité des aliments de base. À Madagascar, la consommation de riz décline à la fin de la saison sèche et la consommation de chenilles augmente (Decary, 1937). Les populations locales récoltent les chenilles sur les arbres forestiers, à la fin de la saison sèche, lorsque les feuilles se développent juste avant les pluies. Les chenilles peuvent aussi être séchées et stockées pour être consommées en période de pénurie alimentaire. En Afrique australe, les chenilles de paon de nuit (Saturniidae) sont largement consommées pendant les périodes de l’année où se produisent des pénuries alimentaires.

TABLEAU 2.1
**Périodes d’abondance de chenilles en Afrique centrale**

| Pays | Province | Janv. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Set. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| République centrafricaine | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| Cameroun | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| République démocratique du Congo | Est Kasaï | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| | Ouest Kasaï | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | Bandundu | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Kinshasa | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| République du Congo | Sangha | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| | Likoula | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| | Brazzaville | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | Pool | ■ | | | | | | | | | | | |
| | Plateaux | ■ | | | | | | | | | | | |

*Source:* Roulon-Doko, 1998.

### *Asie*

Entre 150 et 200 espèces d’insectes comestibles sont consommées en Asie du Sud-Est. Les charançons rouges du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) récoltés sur le sagoutier (*Metroxylon sagu*) sont particulièrement appréciés sur tout le continent et sont des friandises de prix très élevé dans de nombreuses régions (Johnson, 2010). Certains insectes sont disponibles toute l’année, dont de nombreuses espèces aquatiques, alors que d’autres ne sont accessibles que saisonnièrement. Le tableau 2.2 montre la disponibilité annuelle de quelques espèces choisies en République démocratique populaire lao. Dans ce pays ainsi qu’au Myanmar, en Thaïlande et au Viet Nam, diverses espèces d’insectes sont récoltées tout au long de l’année dans différents habitats, et de cette façon les populations obtiennent un approvisionnement continu en insectes comestibles (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005) (Tableau 2.3).

La répartition géographique actuelle de l’entomophagie dans de nombreux pays asiatiques est le résultat des déplacements migratoires. Par exemple, les insectes constituent depuis longtemps une partie importante du menu des populations du nord-est de la Thaïlande, mais suite aux migrations de main-d’œuvre en direction des zones touristiques dans le sud du pays, y compris à Bangkok, l’entomophagie est maintenant bien établie dans tout le pays (Yen, 2009). On estime que, dans ce pays, pas moins de 81 espèces

d'insectes sont consommées aussi bien en zones urbaines qu'en zones rurales. Enfin, plus de 50 espèces d'insectes sont consommées en Asie du Sud (Inde, Pakistan et Sri Lanka), 39 en Papouasie-Nouvelle-Guinée et dans les îles du Pacifique, ainsi que de 150 à 200 espèces en Asie du Sud-Est (Johnson, 2010).

TABLEAU 2.2
**Disponibilité mensuelle des insectes comestibles en République démocratique populaire lao**

| Habitat | Nom commun (nom scientifique) | Janv. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aquatique | Scorpion d'eau (*Laccotrephes* sp.) (Nepidae) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Dytique (*Cybister* sp.) (Dytiscidae) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Hydrophile (*Hydrophilus* sp.) (Hydrophilidae) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Larves de libellules | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Nèpe géante (*Lethocerus indicus*) (Belostomatidae) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Terricole | Grillon (*Tarbinskiellus portentosus*) (= *Brachytrupes achatinus*) (Gryllidae) | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| | Cochenille (*Drosicha* sp.) [Monophlebidae = Margarodidae] | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | Bousiers (Scarabaeinae) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| Arbres, arbustes, buissons | Cigale (Cicadidae) | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| | Fourmi tisserande (*Oecophylla smaragdina*) (Formicidae) | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| | Punaise puante (*Tessaratoma quadrata*) (Pentatomidae) | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Ver blanc (*Holotrichia* sp.) (Scarabaeidae) | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Sauterelles (Orthoptera) | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | Chenille du bambou (*Omphisa fuscidentalis*) (Pyralidae) | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |

*Source:* Nonaka, 2010.

TABLEAU 2.3
**Disponibilité mensuelle des insectes comestibles en Thaïlande**

| Mois | Insecte |
|---|---|
| Janvier | Sauterelle, chrysomèle, hespéride |
| Février | Fourmi rouge adulte, bousier, scarabée, punaise puante |
| Mars | Cigale, termite, bousier |
| Avril | Bousier, sauterelle |
| Mai | Grillon terrestre |
| Juin | Nèpe géante, coléoptère foreur du bois, dytique |
| Juillet | Notonecte, haliplidé, demoiselle, araignée |
| Août | Frelon, guêpe, coléoptère |
| Septembre | Scarabée rhinocéros, araignée |
| Octobre | Grillon |
| Novembre | Capricorne |
| Décembre | Courtilière, dytique, hydrophile, scorpion d'eau |

*Source:* Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005.

### *Amérique latine*

Au Mexique les peuples autochtones ont une grande connaissance des plantes et des animaux dont ils font traditionnellement leurs repas, y compris du cycle biologique des insectes (Ramos Elorduy, 1997) (Encadré 2.9). Les insectes ont été «calendarisés» espèce par espèce, c'est-à-dire que le peuple pense qu'ils vivent en harmonie avec les phénomènes naturels tels que les cycles biologiques des plantes, les cycles lunaires, les saisons des pluies et le tonnerre. Il est bien connu parmi les peuples autochtones, par exemple, que les «escamoles» (larves de fourmis du genre *Liometopum*) sont prêtes à être récoltées lorsque les plants de «jarilla» (*Senecio salignus*) sont en fleurs. Dans l'État de Oaxaca au Mexique, la récolte des chapulines commence au début de la saison des pluies et se poursuit durant toute cette saison. En Amazonie, la récolte des insectes est aussi saisonnière. Les Indiens Maku, un peuple autochtone de chasseurs-cueilleurs vivant dans la forêt tropicale du nord-ouest de l'Amazonie au Brésil, récoltent les insectes durant la saison des pluies (de juillet à septembre) quand la pêche et la chasse deviennent difficiles (Milton, 1984). Dans l'Amazonie colombienne, la communauté Nukak récolte les larves des espèces du genre *Rhynchophorus* pendant la saison des pluies (Politis, 1996).

Sur les hautes terres équatoriennes, on trouve sur les marchés de Quito le scarabée *Platycoelia lutescens* de fin octobre à début novembre; ils sont récoltés pendant les pluies d'hiver. Les scarabées sont récoltés lorsqu'ils émergent du sol dans les prairies où ils sont alors faciles à récolter. On pense que les vibrations provoquées par la pluie et le son du tonnerre déclenchent leur sortie (Smith et Paucar, 2000). Cependant, tous les insectes ne sont pas récoltés pendant la saison des pluies. Par exemple, les larves du charançon sud-américain du palmier (*Rhynchophorus palmarum*) et du charançon barbu (*Rhinostomus barbirostris*) sont récoltées par le peuple Joïti dans le nord-est de l'Amazonie, en République bolivarienne du Venezuela, de septembre à janvier à la fin de la saison des pluies. En fait, les pluies font fuir les coléoptères adultes et augmentent la fréquence des attaques fongiques (Choo, Zent et Simpson, 2009).

ENCADRÉ 2.9

**Consommation d'aliments d'origine naturelle par les Popolocas de Los Reyes Metzontla Puebla, Mexique**

**Disponibilité alimentaire**

Les aliments prélevés dans la nature fournissent des compléments importants à l'alimentation du peuple popoloca, particulièrement quand les réserves de maïs et de haricots sont basses (Tableau 2.4). Les plantes sauvages et les insectes sont disponibles principalement durant la saison des pluies, d'avril à octobre, avant la récolte du maïs et des haricots.

TABLEAU 2.4

**Disponibilité mensuelle des insectes comestibles, des plantes sauvages et des cultures vivrières pour les Popolocas de Los Reyes Metzontla Puebla, Mexique**

| Mois | Insectes et produits issus des insectes | Quantité approximative consommée |
|---|---|---|
| Toute l'année | Ver cazahaute | De ¼ à ½ litre, deux à trois fois par an, par famille |
| | Nid de guêpe | De 1 à 4 nids par an, par famille |
| | Miel: *Apis mellifera* | Aucune donnée disponible |
| Janvier | Insectes disponibles toute l'année | - |
| Février | *Comadia redtenbacheri* | Environ 1 litre, une ou deux fois par an, par famille |
| Mars | Mormidea (Mormidea) *Notulata* et *Euschistus* sp. | De 1 à 2 litres, une ou deux fois par an, par famille |
| | *Comadia redtenbacheri* | Environ 1 litre, une ou deux fois par an, par famille |
| | Miel: *Plebeia mexica* | Récolté une fois par an au printemps |

*Suite page suivante*

*Encadré 2.9 (suite)*

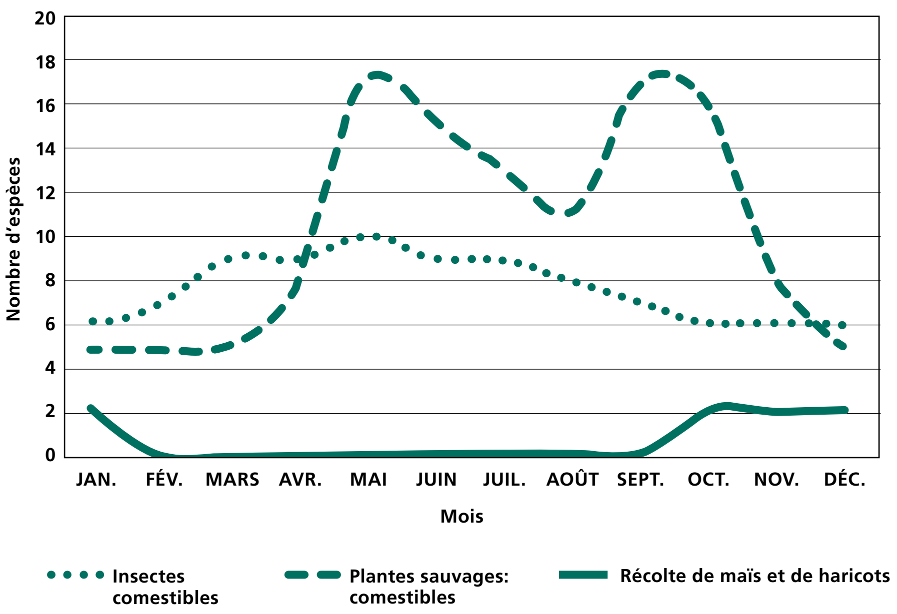
TABLEAU 2.4 (suite)

| Mois | Insectes et produits issus des insectes | Quantité approximative consommée |
|---|---|---|
| Avril | Mormidea (Mormidea) *Notulata* et *Euschistus* sp. | De 1 à 2 litres, une ou deux fois par an, par famille |
| | *Thasus gigas* | De ¼ à 2 litres, une à trois fois par an, par famille |
| | Miel: *Plebeia mexica* | Récolté une fois par an au printemps |
| Mai | Mormidea (Mormidea) *Notulata* et *Euschistus* sp. | De 1 à 2 litres, une ou deux fois par an, par famille |
| | Miel: *Plebeia mexica* | Récolté une fois par an au printemps |
| | *Aegiale hesperialis* | Environ 50 larves chaque saison, par famille |
| | *Atta mexicana* | De ¼ à 1 litre, une fois par an, par famille |
| Juin | *Aegiale hesperialis* | Environ 50 larves chaque saison, par famille |
| | Pochocuile | Environ une ou deux «medidas» (12 larves), une fois par an, par personne |
| Juillet | *Aegiale hesperiaris* | Environ 50 larves chaque saison, par famille |
| | Pochocuile | Environ une ou deux «medidas» (12 larves), une fois par an, par personne |
| Août | *Paradirphia fumosa* | De deux «medidas» (15 larves) par personne à 3 litres par famille, une fois par an |
| | Gusano del pirul | De ¼ à 1 litre, deux à trois fois par an, par famille |
| Septembre | *Paradirphia fumosa* | De deux «medidas» (15 larves) par personne à 3 litres par famille, une fois par an |
| Octobre | Insectes disponibles toute l'année | - |
| Novembre | Insectes disponibles toute l'année | - |
| Décembre | Insectes disponibles toute l'année | - |

*Source:* Acuña *et al.*, 2011.

FIGURE 2.4

**Disponibilité mensuelle des insectes comestibles, des plantes sauvages et des cultures vivières pour les Popolocas de Los Reyes Metzontla Puebla, Mexico**




*Source:* Acuña *et al.*, 2011.

*Suite page suivante*

*Encadré 2.9 (suite)*

Le plus souvent, les Popolocas récoltent ces aliments dans la nature lorsqu'ils vont travailler dans leurs parcelles agricoles. En mai, par exemple, divers fruits de cactées, comme les chende (*Polaskia chende*), chichipe (*Polaskia chichipe*), xoconostle (*Stenocereus stellatus*), pitaya (*Stenocereus pruinosus*) et nopal del monte (*Opuntia depressa*), sont récoltés en même temps que des insectes tels que les chinches (punaises puantes), conduchos (*Aegialis hesperialis*, vers blancs de l'agave maguey) et chicatanas (*Atta mexicana*, fourmi coupeuse de feuilles). Ces insectes sont, pour la plupart (60 pour cent), disponibles de février à septembre, les autres 40 pour cent sont disponibles tout au long de l'année (p. ex. les nids de guêpe).

**Fréquence et quantité**

La fréquence de consommation et les quantités consommées dépendent de trois facteurs principaux: les conditions climatiques qui peuvent affecter les quantités d'insectes récoltées; le choix personnel; et le hasard des rencontres lors de la poursuite d'autres activités de subsistance (p. ex. l'agriculture), pour les espèces qui sont utilisées de façon opportuniste.

*Source:* Acuña *et al.*, 2011.

## 2.3 EXEMPLES PARMI LES PRINCIPALES ESPÈCES D'INSECTES CONSOMMÉS

Cette section décrit quelques-unes des espèces d'insectes les plus consommés, mais elle n'est, en aucune façon, exhaustive.

### 2.3.1 Chenille

Les chenilles font partie des groupes d'insectes comestibles les plus diversifiés au monde. Ce ne sont pas seulement des sources précieuses de protéines et de micronutriments, elles contribuent significativement aux moyens de subsistance des populations dans de nombreuses régions du monde. Parmi les plus réputées, on trouve le «witchetty grub[6]» consommée en Australie et la chenille foreuse du bambou, *Omphisa fuscidentalis*, qui est très appréciée en Thaïlande et en République démocratique populaire lao (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005). La consommation de chenilles est particulièrement profuse en Afrique subsaharienne, où 30 pour cent de toutes les espèces d'insectes comestibles sont des chenilles (van Huis, 2003b). Malaise (1997) a recensé 38 espèces de chenilles comestibles grâce à des études intensives dans la région habitée par les Bembas (peuple de langue bantou vivant sur le plateau du nord-est de la Zambie et des régions voisines en République démocratique du Congo et au Zimbabwe). En République démocratique du Congo, les chenilles fournissent jusqu'à 40 pour cent des protéines animales consommées (Latham, 2003) (Encadré 2.10). La chenille mopane, *Imbrasia* (= *Gonimbrasia*) *belina*, est sans aucun doute la chenille la plus appréciée et la plus lucrative du continent africain.

#### *Chenille mopane*

Les forêts à mopane s'étendent du Botswana à la Namibie, au Zimbabwe et dans le nord de la République d'Afrique du Sud. Au sein de ce vaste espace, les chenilles mopane prospèrent. Certaines communautés rurales ont une connaissance approfondie de l'écologie et de la biologie de l'insecte (Mbata, Chidumayo et Lwatula, 2002). Son aire de répartition est étroitement liée à celle de son hôte principal, un arbre, le mopane (*Colophospermum mopane*). La chenille mopane est bivoltine dans la plupart des zones; c'est-à-dire que deux générations se succèdent chaque année (la première, et principale, a lieu entre novembre et janvier et la seconde entre mars et mai) (Stack *et al.*, 2003; Ghazoul, 2006).

---

[6] Ce terme est utilisé en Australie pour désigner la chenille d'un papillon cossidé lignivore *Xyleutes* (= *Endoxyla*) *leucomochla*, une friandise traditionnelle aborigène.

ENCADRÉ 2.10
**Proverbes Yansi, République démocratique du Congo**

«Les chenilles et la viande jouent le même rôle dans le corps humain.»
«Comme aliment, les chenilles sont courantes dans le village, alors que la viande est rare.»

*Source:* Muyay, 1981.

Comme beaucoup d'autres insectes comestibles, les chenilles mopane ne sont pas seulement une «nourriture de famine» consommée en période de pénurie alimentaire. Bien que ces chenilles soient une importante ressource alimentaire en période de vaches maigres, elles constituent aussi une part régulière du menu habituel (Stack *et al.*, 2003).

Récolter, transformer, commercialiser et consommer les chenilles mopane fait partie intégrante de la culture locale, mais, c'est particulièrement une stratégie de subsistance pour les groupes marginalisés (Illgner et Nel, 2000; Stack *et al.*, 2003). Les chenilles sont principalement récoltées à la main par les femmes et les enfants – et ensuite purgées, bouillies dans de l'eau salée, puis séchées au soleil. Une fois séchées, les chenilles mopane peuvent se conserver plusieurs mois et sont une source précieuse de nourriture en périodes difficiles. Récolter et commercialiser les chenilles fournit également une source de revenus pour de nombreuses familles rurales; c'est souvent la motivation principale pour la récolte (Stack *et al.*, 2003), et le gain est comparable, voire parfois supérieur, à celui obtenu par les cultures agricoles conventionnelles (Munthali et Mughogho, 1992; Chidumayo et Mbata, 2002). Les revenus générés par la récolte des chenilles mopane fournissent aux familles les fonds nécessaires à l'achat d'articles ménagers, de vêtements, de fournitures scolaires et d'ustensiles de base (Stack *et al.*, 2003; N'Gasse, 2004). Un grand nombre de personnes prennent part dans la récolte des chenilles mopane: les incitations nutritionnelles et économiques sont si fortes que nombreux sont ceux qui n'hésitent pas à traverser des centaines de kilomètres de forêts à mopane à la recherche des insectes (Kozanayi et Frost, 2002).

La teneur en protéines des chenilles mopane est de 48-61 pour cent et la teneur en matières grasses est de 16-20 pour cent, dont 40 pour cent sont des acides gras essentiels. Les chenilles mopane sont aussi une bonne source de calcium, de zinc et de fer (Glew *et al.*, 1999; Headings et Rahnema, 2002). Voir le chapitre 6 pour plus d'informations sur la nutrition.

## 2.3.2 Charançon du palmier

> *«Larvae assate in deliciis habentur»* [les larves frites sont délicieuses] d'après Linné, à propos de *Rynchophorus* spp., dans son ouvrage de 1758 *Systema Naturae*.

Les larves du charançon du palmier (*Rynchophorus* spp.) sont consommées en Asie (*R. ferrugineus*), en Afrique (*R. phoenicis*) et en Amérique latine (*R. palmarum*). Leur goût délicieux est dû, selon certains, au taux élevé de matières grasses (Fasoranti et Ajiboye, 1993). Sous les tropiques, l'insecte est présent toute l'année dans les zones où l'arbre hôte existe. Souvent, ces arbres hôtes sont des individus stressés; c'est-à-dire des arbres déjà attaqués par d'autres insectes, notamment par des scarabées rhinocéros (*Oryctes* spp.), ou saignés pour la production traditionnelle de vin de palme (Fasoranti et Ajiboye, 1993). Des palmiers tombés au sol peuvent être des sites de reproduction et héberger des centaines de larves; des palmiers peuvent être abattus uniquement dans ce but. Une telle pratique est fréquente chez les Indiens Yanomamö (Chagnon, 1983) et Jöti (Choo, Zent et Simpson, 2009) en Amazonie. Van Itterbeeck et van Huis (2012) ont

noté que de nombreux peuples autochtones ont une excellente connaissance de l'écologie du charançon du palmier et peuvent accroître sa disponibilité et sa prévisibilité par des techniques de production naturelle améliorées. Des expériences dans des villages du Haut-Orénoque ont étudié les méthodes pour rendre la production de charançons du palmier plus soutenue que celle obtenue par l'abattage traditionnel des palmiers afin d'améliorer l'oviposition (la ponte des œufs) de *R. palmarum* et des autres charançons du palmier (Cerda *et al.*, 2001).

*Écologie*

Les charançons du palmier attaquent les palmiers, parmi lesquels les plus importants sont le cocotier (*Cocos nucifera*), le dattier (*Phoenix dactylifera*), le sagoutier (*Metroxylon sagou*), le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) et le raphia (*Raphia* spp.). Fasoranti et Ajiboye (1993) ont noté que chez le charançon africain du palmier, les adultes femelles pondaient quelques centaines d'œufs sur les jeunes feuilles ou directement sur le stipe (faux tronc) du palmier. Les larves du charançon creusent jusqu'au cœur du palmier et provoquent sa mort. La totalité du cycle biologique prend de 7 à 10 semaines. Une larve complètement dépliée mesure, en moyenne, 10,5 cm de long, 5,5 cm de large et pèse 6,7 g. Extraire les larves du stipe du palmier exige beaucoup de travail et n'est le plus souvent réalisé que par des hommes jeunes (Fasoranti et Ajiboye, 1993).

ENCADRÉ 2.11

**Charançon asiatique du palmier**

Le charançon rouge du palmier (*Rynchophorus ferrugineus*) est présent dans la plupart des pays asiatiques et au Proche-Orient. Il a atteint la Méditerranée avec un caractère invasif dans les années 80. En août 2009, il avait détruit plus de 13 000 palmiers dattiers en Sicile. Le charançon s'est aussi répandu le long de la côte méditerranéenne et a envahi la péninsule italienne où il détruit les palmiers aussi loin vers le nord que Gênes. En Italie péninsulaire, ses destructions sont principalement limitées au palmier ornemental *Phoenix canariensis*. La méthode de lutte principale dans le pays et tout autour de la Méditerranée est l'utilisation systématique d'insecticides.

*Source:* Mormino, 2009.

*Détection des larves*

En République démocratique du Congo, il est d'usage que les femmes détectent le meilleur moment pour la récolte des larves de charançon, de capricornes et de scarabées – que l'on trouve dans les stipes sur pied ou pourrissants de palmiers *Elaeis*, *Raphia*, *Chamaerops* et *Cocos nucifera* (Ghesquière, 1947) – en collant leur oreille contre le stipe des arbres et en écoutant le bruit fait par les larves en rongeant et creusant. Cette méthode est aussi utilisée au Cameroun pour récolter les larves du charançon du palmier (*Rhynchophorus phoenicis*) au stade de développement le plus approprié pour leur consommation (van Huis, 2003b). La même méthode a été observée en République centrafricaine (Roulon-Doko, 1998) et dans les Amériques (Ghesquière, 1947; Wolcott, 1933). En Italie, les contrôleurs sanitaires des forêts sont réputés pour avoir utilisé des dispositifs électroniques d'écoute pour détecter les infestations à un stade précoce du charançon rouge du palmier, car lorsque les symptômes des dégâts deviennent apparents, l'arbre est perdu (Encadré 2.11).

*Consommation*

Typiquement, les larves de charançon du palmier sont récoltées, lavées et frites pour la consommation (Fasoranti et Ajiboye, 1993). Il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'huile

car les larves ont une teneur élevée en matières grasses et exsudent de l'huile lors de la friture. Les condiments usuels sont des oignons, du poivre et du sel. Les larves sont aussi couramment grillées au barbecue.

Au Nigéria, les adultes déconseillent les enfants de manger des larves de charançon du palmier. On pense que c'est pour prévenir les enfants de tomber des palmiers; leur activité peut accroître à court terme le nombre de sites de production et le nombre de larves disponibles à la récolte, mais elle pourrait provoquer des dégâts irrémédiables à long terme sur les arbres hôtes (Fasoranti et Ajiboye, 1993). Protéger les palmiers est considéré essentiel par les communautés qui dépendent de ces arbres pour d'autres produits clefs comme l'huile de palme, les palmistes et le vin de palme.

### 2.3.3 Termites

Dans le monde occidental, les termites sont généralement qualifiés de nuisibles et sont connus pour leur capacité à dévorer le bois. On dit que les dégâts provoqués par les termites coûtent plus d'un demi-milliard de dollars EU par an aux seuls Etats-Unis d'Amérique. Toutefois, les termites sont considérés comme un mets raffiné dans de nombreuses parties du monde. Ils sont consommés aussi bien en plat principal qu'en accompagnement, ainsi qu'en amuse-gueule après avoir été désailés, frits et séchés au soleil (Kinyuru et Njoroge, 2009).

Bien qu'ils soient souvent appelés «fourmis» ou «fourmis blanches», les termites n'appartiennent pas au même ordre que les fourmis; ils appartiennent à l'ordre des isoptères. Les termites comestibles, qui appartiennent typiquement à la famille des macrotermitidés (Macrotermitinae), sont généralement les individus ailés qui essaiment des termitières cathédrales peu après le début des premières pluies à la fin de la saison sèche (cet envol est appelé vol nuptial). Ces termites ailés sont les futurs rois et reines. Ils sont comestibles, tout comme les soldats. Les termites sont connus pour construire de grands nids très élaborés; pour certaines espèces, ces nids peuvent atteindre 8 m de haut et un seul nid peut héberger jusqu'à 1 million d'individus comprenant des ouvriers, des soldats, un roi et une reine. On pense que la biomasse totale des termites dépasse celle de la totalité de l'humanité.

Les termites ne peuvent pas digérer la cellulose ni la lignine, aussi leur tube digestif contient des protozoaires et des bactéries symbiotiques qui digèrent la cellulose du bois. Les termites vivent des sous-produits de cette digestion et des corps mêmes de ces symbiotes. Par exemple, des espèces de macrotermitidés cultivent des champignons dans leur termitière qui brisent la cellulose et la lignine en molécules plus nutritives. Ces champignons font partie d'un système digestif extracorporel qui convertit la matière ligneuse indigeste des plantes en oligosaccharides de plus grande qualité et en un complexe de sucres plus facilement digestibles. Ainsi, les termites «sous-traitent» la digestion de la cellulose. Cette digestion est responsable de l'émission de 4 pour cent des GES mondiaux, sous forme de méthane (Sanderson, 1996).

#### *Reine et soldats*

Les reines des termites sont un mets particulièrement apprécié, souvent réservé aux grandes occasions (van Huis, 2003b). Leur valeur nutritionnelle est telle qu'en Ouganda et en Zambie elles sont données aux enfants sous-alimentés. Cependant, extraire les reines – qui sont capables de pondre 2 000 œufs par jour et qui mesurent jusqu'à 10 cm de diamètre – est très laborieux et leur prélèvement provoque la mort de colonies entières.

La consommation de soldats des plus grandes espèces de termites a été constatée en République centrafricaine, en République démocratique du Congo, en République bolivarienne du Venezuela et au Zimbabwe (Bequaert, 1921; Bergier, 1941; Owen, 1973; Chavanduka, 1976; Roulon-Doko, 1998; Paoletti *et al.*, 2003). Ils sont souvent frits ou pilés et incorporés dans des gâteaux. Parfois, par exemple en Ouganda, seules les têtes sont consommées (van Huis, 2003b). Les termites soldats ne peuvent être récoltés

qu'en petites quantités, et cette récolte est en général faite par les femmes et les enfants (Roulon-Doko, 1998). Contrairement aux formes ailées, les soldats peuvent être récoltés tout au long de l'année.

*Récolte des termites*
Il existe de nombreuses façons de récolter les termites ailés. En zones urbaines, ils sont piégés dans des récipients contenant de l'eau, près des sources de lumière qui les attirent. En zones rurales, les termites ailés sont habituellement capturés près de la termitière cathédrale. Lorsqu'ils émergent – attirés par la lumière d'un fagot d'herbes enflammé – ils sont balayés dans un trou creusé à cette intention. Dans certaines régions de la République démocratique du Congo, les populations disposent des paniers renversés au-dessus des trous, de façon à ce que les termites qui s'accrochent au fond du panier tombent dans le trou lorsque les paniers sont secoués (Bergier, 1941). À la place de paniers, des structures faites de cannes d'herbe à éléphant recouvertes de feuilles de bananiers, de marantacées ou de couvertures, sont aussi utilisées pour recouvrir les trous (Bergier, 1941; Osmatson, 1951; Roulon-Doko, 1998). Toutes les issues d'évasion sont fermées afin que les termites soient obligés de sortir par une seule ouverture sur un des côtés de la structure, vers laquelle les termites sont attirés par la lumière du soleil, de la lune, d'une torche ou d'un feu. Un récipient est placé près de cette ouverture pour recueillir les termites (Harris, 1940; Bergier, 1941; Ogutu, 1986). Osmatson (1951) a décrit comment, en Ouganda, un réseau compliqué de tubes d'argile est assemblé au-dessus des trous d'émergence, conduisant à un récipient. Le battage continu et le tambourinement du sol (à l'imitation de la pluie) autour des termitières cathédrales déclenchent l'émergence de certaines espèces de termites (Owen, 1973; Ogutu, 1986; Roulon-Doko, 1998). Récemment, Ayieko *et al.* (2011) ont combiné la technologie moderne et les techniques traditionnelles pour récolter des termites (Encadré 2.12).

ENCADRÉ 2.12

**Fusion des connaissances traditionnelles et des techniques modernes pour la récolte des termites au Kenya**

Au Kenya, une étude réalisée en collaboration avec le «Kenya Industrial Development» a montré que la construction d'un simple piège lumineux avec récepteur, faciliterait la capture en masse de *Macrotermes subhyalinus* nommé «agaro» dans la région du lac Victoria et permettrait d'accroître la sécurité alimentaire des communautés pratiquant l'entomophagie.

L'étude proposait, afin de maximiser la récolte, de former les populations à la construction de pièges en utilisant les matériaux locaux directement disponibles. Elle a montré la nécessité de développer les connaissances sur les diverses espèces de termites. Par exemple, la compréhension du mode d'émergence des termites «agaro» – en bref, identifier les termitières potentiellement actives – devrait permettre de maximiser les récoltes. Il serait également important de faire le point sur les changements des contextes environnementaux. La fusion de la science moderne et des méthodes traditionnelles est prometteuse, mais des recherches complémentaires sont nécessaires pour comprendre, entre autres problèmes, pourquoi de telles variations existent entre les récoltes.

*Source:* Ayieko *et al.*, 2011.

*Consommation des termites et valeur nutritionnelle*
Les termites sont riches en protéines, en acides gras et en divers micronutriments. Frits ou séchés, les termites contiennent de 32 à 38 pour cent de protéines (Tihon, 1946; Santos Oliveira *et al.*, 1976; Nkouka, 1987). Les teneurs en acides gras essentiels comme l'acide

linoléique sont particulièrement élevées chez les espèces africaines à termitières érigées au-dessus du sol, *Macrotermes bellicosus* (34 pour cent) et *M. subhyalinus* (43 pour cent) (Santos Oliveira *et al.*, 1976). En République bolivarienne du Venezuela, les soldats des espèces du genre *Syntermes* (p. ex. *Syntermes aculeosus*) sont connus pour leur haute valeur nutritionnelle. La teneur en protéines de cette espèce, 64 pour cent, est remarquable; le genre est aussi riche en acides aminés essentiels comme le tryptophane et en d'autres micronutriments comme le fer et le calcium.

Les termites sont généralement consommés frits, séchés au soleil ou fumés, mais en Ouganda, ils sont passés à la vapeur dans des feuilles de bananier. Pour sécher au soleil ou pour fumer les termites, ils doivent être tués au préalable, ébouillantés ou rôtis pendant quelques minutes (Silow, 1983). Parfois ils sont réduits en poudre au pilon dans un mortier et consommés avec du miel (Ogutu, 1986). Le peuple Azande et les Pygmées en République démocratique du Congo font frire la viande dans les résidus gras issus de ces termites (Bequaert, 1921; Bergier, 1941). Les Pygmées utilisent également cette huile pour traiter leur corps et leurs cheveux. L'huile de termite est extraite en pressant des termites séchés dans un tuyau (Costermans, 1955). Dans de nombreux villages et villes d'Afrique de l'Est, on peut acheter dans les marchés locaux, des termites séchés au soleil (Osmatson, 1951; Owen, 1973). Les termites séchés au soleil peuvent être réduits en poudre et mélangés à d'autres ingrédients alimentaires (Pearce, 1997) par cuisson, ébullition, cuisson à la vapeur, ou incorporés dans des crackers, des muffins, des saucisses, des pâtés en croûte (Kinyuru, Kenji et Njoroge, 2009; Ayieko, Oriamo et Nyambuga, 2010). Au Botswana, les femmes san récoltent les termites ailés *Hodotermes mossambicus* et les rôtissent dans des cendres chaudes et du sable (Nonaka, 1996).

***Des termites pour nourrir les porcs, la volaille et les poissons***

L'utilisation des termites pour nourrir les animaux a été observée dans plusieurs pays. Au Burkina Faso, les termites sont récoltés grâce à des petites calebasses qui sont astucieusement remplies avec du vieux fumier humide, des noyaux de mangue et d'autres matières organiques, puis qui sont enterrées (van Huis, 1996). Trois ou quatre semaines plus tard, les calebasses sont déterrées et leur contenu – plein de termites – est donné à la volaille. De telles méthodes sont surtout importantes en fin de saison sèche lorsque la nourriture est rare (Iroko, 1982). Farina, Demey et Hardouin (1991) ont montré comment des termites sont donnés à des pintades et des poulets dans les villages du Togo avec des techniques comparables à celles en usage au Burkina Faso. Des termites ailés capturés lors de l'essaimage ont été donnés à des poulets bankiva en Inde ainsi qu'à des autruches dans des fermes d'élevage d'un bout à l'autre de l'Afrique (Pearce, 1997).

***Champignons de termitières***

En plus des termites, diverses espèces de champignons poussant sur les termitières sont régulièrement consommées dans de nombreux pays tropicaux. Les champignons récoltés dans la nature constituent des compléments alimentaires importants pour les populations locales et ont aussi un rôle dans les traditions culturelles. Dans de nombreuses régions d'Afrique, on trouve couramment des champignons au marché, et ils sont aussi conservés pour être consommés pendant la saison sèche froide (Parent et Thoen, 1977). Au Nigéria, les guérisseurs traditionnels yoroubas utilisent de nombreuses espèces du genre *Termitomyces* (Lyophyllaceae) comme remèdes ou comme envoûtements. Ces champignons tiennent aussi leur place dans le folklore et les mythes (Oso, 1977).

Les champignons appartenant au genre *Termitomyces* s'élèvent directement des «peignes» fongiques dans la termitière (Zoberi, 1973). Les noms locaux de ces champignons sont souvent dérivés des noms locaux des termites. En Ouganda, par exemple, les nyoros appellent obunyanaka les champignons qui poussent sur les termitières des termites appelés enaka, alors que les champignons obunyantaike poussent sur les termitières des termites entaike. Les carpophores des espèces du genre *Termitomyces* sont

de grandes dimensions (jusqu'à 80 cm de diamètre), à l'exception de *T. microcarpus* qui ne font que de 0,5 à 2 cm de diamètre (Parent et Thoen, 1977); on trouve cette dernière espèce en Afrique de l'Ouest et en Afrique du Sud (Skelton et Matanganyidze, 1981).

### 2.3.4 Punaises puantes

À travers le Mexique (Ramos Elorduy et Pino, 2003), l'Afrique australe et l'Asie du Sud-Est, il n'est pas rare de trouver des populations qui mangent des nymphes et des adultes de punaises puantes (Hemiptera: Pentatomidae) (DeFoliart, 2002). Dans le sud de l'Afrique, *Encosternum* (= *Natalicola*) *delegorguei* est considéré comme un mets délicat. Les punaises puantes sont consommées au Malawi, en Afrique du Sud et au Zimbabwe (Faure, 1944; van Huis, 2003b; Morris, 2004), alors que les espèces du genre *Tessaratoma*, comme *T. papillosa* (la punaise puante du litchi), *T. javanica* (la punaise puante du longane) et *T. quadrata* («mien kieng», nom local en République démocratique populaire lao) sont très recherchées en Chine, en République démocratique populaire lao et en Thaïlande (Nonaka, 2007; Chen, Feng et Chen, 2009).

***Écologie***

*Encosternum delegorguei*, plus communément connu comme punaise puante comestible (thongolifha en langue venda, xipembele en langue tsonga d'Afrique du Sud) est un insecte de grandes dimensions, herbivore, vert clair avec des pièces buccales piqueuses-suceuses dont il se sert pour se nourrir de sucs végétaux (Triplehorn et Johnson, 2004). Le nom de punaise puante vient de l'odeur que ces insectes dégagent lorsqu'ils sont dérangés (Aldrich, 1988). Les punaises puantes sont récoltées de mai à août, période pendant laquelle elles abondent en grand nombre (Faure, 1944; Dzerefos, Witkowski et Toms, 2009). En Asie du Sud-Est, les espèces du genre *Tessaratoma* forment des agrégations sur divers arbres pendant la saison sèche (culminant en mars et avril) (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Les punaises puantes se nourrissent aussi sur les plantes cultivées et sont donc considérées nuisibles aux cultures (Panizzi, 1997).

***Moyens de subsistance***

Les punaises puantes (ou tessaratomides) soufflées apportent une importante contribution au régime alimentaire des populations rurales dans de nombreuses régions du monde. Au Zimbabwe, les punaises puantes sont une source précieuse de revenus pour la communauté norumedzo et sont essentielles pour l'achat d'articles ménagers et pour couvrir les frais de scolarité (Makuku, 1993). Pour répondre à une forte demande, les punaises puantes sont exportées vers les pays voisins et les récolteurs se déplacent vers les sites riches en insectes sur près de 200 km (Teffo, 2006).

Cependant, les données sur la valeur nutritionnelle des punaises puantes sont rares, bien que quelques rapports existent. D'après Teffo (2006), *E. delegorguei* a des teneurs en protéines et en matières grasses respectivement de 35,5 g et 50,6g pour 100 g de masse comestible, et la consommation de 100 g de *E. delegorguei* apporte 2 599 kilojoules d'énergie. Cette espèce s'est également révélée être riche en éléments minéraux tels que le fer, le potassium et le phosphore. En Asie du Sud-Est, les punaises puantes du genre *Tessaratoma* sont particulièrement prisées. Dans la municipalité de Vientiane, en République démocratique populaire lao, elles sont récoltées, vendues et consommées en masse (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012).

Les punaises puantes sont récoltées à la main dans toute l'Afrique australe, de même qu'en Asie du Sud-Est. La récolte provoque des taches jaunes ou oranges provenant des sécrétions défensives de l'insecte (Faure, 1944), ce qui pousse les récolteurs à se couvrir les mains avec des sacs en plastique (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012), et aussi à utiliser des filets emmanchés d'un long bâton. Les insectes sont délogés des arbres par le jet de petits bâtons ou par le secouement des branches (J. Van Itterbeeck,

communication personnelle, 2012). Les récolteurs font particulièrement attention à se protéger les yeux, car ils croient que ces sécrétions provoquent des infections de la cornée pouvant même conduire à la cécité (Faure, 1944; Siripanthong *et al.*, 1991). Il est plus facile de récolter les punaises lorsque la température est fraîche – tôt le matin, ou au coucher du soleil, et en particulier après les averses de pluie (Faure, 1944).

En Afrique australe ainsi qu'en Asie du Sud-Est, les punaises puantes sont consommées crues ou cuites (Faure, 1944; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). La tête des punaises mortes ou vives est arrachée par pression (d'arrière en avant), ce qui élimine leur «poison» (Faure, 1944; Toms et Thagwana, 2003). En République démocratique populaire lao, on enlève seulement le scutellum (collier) après friture; on dit qu'il est source d'amertume (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Le trempage des punaises dans l'eau ou leur immersion dans de l'eau tiède provoque la libération de leurs sécrétions; elles peuvent ensuite être séchées au soleil et être consommées (Toms et Thagwana, 2003). L'eau dans laquelle *Nezara robusta*, la punaise verte puante à bouclier, a libéré ses sécrétions, est utilisée comme pesticide pour protéger les maisons et les jardins contre les termites (Morris, 2004).

***Implications écologiques***

Les punaises puantes font face à des menaces similaires à celles des autres insectes comestibles très recherchés. Du fait qu'elles sont devenues une importante source de revenus et de nourriture, la surexploitation et la mauvaise gestion de leur habitat sont sources d'inquiétude croissante. Une des raisons de cette inquiétude est que de nombreux récolteurs amateurs abattent les arbres pour récolter les insectes, avec des conséquences graves pour la durabilité de la méthode (Faure, 1944; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). De plus, la surexploitation peut, et éventuellement va, menacer les populations de punaises puantes, en perturbant les périodes d'accouplement successives (débutant à la mi-octobre). Un autre aspect a des conséquences à la fois pour l'environnement et pour la sécurité alimentaire – les punaises puantes du genre *Tessaratoma* sont nuisibles à l'agriculture et peuvent être traitées chimiquement (p. ex. *Tessaratoma papillosa*, la punaise puante du litchi, que l'on trouve sur *Litchi chinensis*) (Menzel, 2002), ce qui constitue un problème de santé publique. La récolte des punaises puantes pourrait protéger les cultures, fournir des revenus additionnels et des aliments; l'éradication des nuisibles supprimerait aussi une source de revenus capitale, ce qui devrait être évité (Cerritos, 2009).

Dans certaines parties du monde, les bénéfices retirés de la récolte des insectes en termes de conditions de vie et de moyens de subsistance sont les moteurs d'une gestion raisonnée. La communauté Norumedzo au Zimbabwe, par exemple, a classé les habitats des punaises puantes en zones communautaires protégées. Ces forêts sont continuellement surveillées et l'abattage des arbres y est limité au minimum (Makuku, 1993).

Dans certains champs où se trouvent des punaises puantes, les cultures sont récoltées mécaniquement. Dans ce cas, les punaises puantes sont récoltées à la main pour épargner les cultures et tirer des revenus de la vente des insectes. Cette méthode est de plus en plus répandue dans les cultures où les insectes nuisibles sont aussi des sources précieuses de revenus et d'aliments.

### 2.3.5 Sauterelle comestible, *Ruspolia differens*

***Développement et récolte***

La sauterelle comestible (*Ruspolia differens*), officiellement connue sous le nom de *Homorocoryphus nitidulus vicinus*, est une sauterelle aux longues antennes appartenant à la famille des Tettigoniidae. C'est une source commune de nourriture dans de nombreuses régions d'Afrique de l'Est et du Sud. Dans la région du lac Victoria, en Afrique de

l'Est, où ces sauterelles sont connues sous le nom de «nsenene», elles constituent une part majeure de la culture alimentaire (Kinyuru, Kenji et Muhoho, 2010). Le groupe ethnique Bahaya dans le district de Bukoba en Tanzanie considère les sauterelles comme une friandise. En Ouganda, les nsenene sont traditionnellement récoltés par les femmes et les enfants.

Les œufs de sauterelles – qui sont pondus en groupes sur les tiges des herbes – ne se développent pas par temps sec. Les pluies déclenchent le développement qui prend environ quatre semaines (McCrae, 1982). Les larves et les adultes se nourrissent des anthères et des graines d'herbes telles que le riz, le millet, le sorgho et le maïs. Généralement, les sauterelles sont récoltées sur ces plantes pendant la journée (Mors, 1958).

«Okulinga ensenene» signifie que les Bahayas (en Tanzanie) sortent de leurs cases tôt le matin pour chercher les nsenene dans les champs. Lorsqu'ils les trouvent, ils crient fortement pour annoncer au village où les nsenene se sont posés – dans les bananeraies ou dans les champs, ou encore sur les collines. Jeunes et vieux, et plus particulièrement femmes et enfants, sortent alors pour les récolter. Les sauterelles sont récoltées partout où elles s'abattent et les propriétaires des bananeraies, par exemple, ne peuvent pas empêcher les intrus de venir récolter les nsenene. Lors des récoltes, tout terrain est considéré en libre accès.

De nos jours, la multiplication des sources de lumière artificielle a permis de récolter les sauterelles relativement facilement la nuit. Les récolteurs professionnels peuvent utiliser des sources puissantes de lumière artificielle pour capturer les sauterelles, alors que les femmes et les enfants y contribuent en utilisant l'éclairage public (van Huis, 2003b). Certains récolteurs se voient même facturer par les compagnies d'électricité (170 dollars EU par mois) pour la fourniture constante d'électricité pendant la nuit (Agea *et al.*, 2008). Toute rupture de l'approvisionnement électrique peut gravement affecter les revenus de la récolte des sauterelles comestibles (Encadré 2.13).

ENCADRÉ 2.13

**Les coupures de courant électrique nuisent au commerce des sauterelles comestibles en Ouganda**

Le rationnement énergétique est une pratique courante en Ouganda, et certaines familles de Kampala subissent des coupures d'électricité durant plus de 48 heures. Ceci a compliqué la vie de nombreux récolteurs et vendeurs ougandais de sauterelles.

Julius Kafeero, un récolteur de sauterelles de Kampala, la capitale de l'Ouganda, dit que la lumière électrique est vitale pour son activité. Le manque de fiabilité de l'approvisionnement électrique l'a obligé, ainsi que plusieurs autres récolteurs, à se tourner vers des sources alternatives d'énergie comme les groupes électrogènes.

Malgré leurs prix croissants, les sauterelles frites demeurent une friandise recherchée en Ouganda. Juliet Nakalyango, une vendeuse au marché Nakasero, dit que ses clients lui achètent toujours des sauterelles bien que les prix aient doublé, une cuillérée de sauterelles coûant environ 0,40 € (0,50 dollars EU), alors que la dernière saison le même montant permettait d'en obtenir une pleine tasse.

*Source:* Gitta, 2012.

### *Commerce*

En Ouganda, une étude de marché de *Ruspolia nitidula* dans les districts de Kampala et de Makaka, a montré que, étant un mets recherché, 1 kg de sauterelles atteignait sur le marché local des prix de 40 pour cent supérieurs à ceux de 1 kg de viande de bœuf (Agea *et al.*, 2008). Cette étude, qui comportait des entretiens avec 70 commerçants

et 70 consommateurs, a montré que les détaillants achetaient les trois quarts de leur approvisionnement à des grossistes, et se procuraient le reste directement aux récolteurs. De plus, la majorité des commerçants indiquait que le commerce de *R. nitidula* était concentré le long des routes et/ou dans les aires de service sur les autoroutes. Bien que ce soient les hommes qui dominaient le secteur, les femmes contribuaient également à la récolte. Le prix de gros des sauterelles était d'environ 0,56 dollar EU le kg, alors que le prix de détail était cinq fois plus élevé (2,80 dollars EU). En moyenne, avec la vente de *R. nitidula*, les commerçants ont généré un revenu de plus de 200 dollars EU par saison. Cependant, parmi les aspects qui limitent la vente de *R. nitidula*, il faut signaler la disponibilité saisonnière de l'insecte et sa faible durée de conservation.

***Autres espèces de sauterelles***

Au Japon, la récolte des sauterelles (principalement *Oxya yezoensis*) est liée à la récolte du riz. La récolte a lieu le matin, lorsque les sauterelles sont humides de rosée. Les sauterelles sont maintenues vivantes pendant une nuit après la récolte afin qu'elles se purgent de leurs excréments. Le jour suivant, elles sont frites ou bouillies et les pattes sont arrachées car elles ne sont pas comestibles. Après séchage au soleil, les sauterelles sont cuisinées dans de la sauce de soja et du sucre. Elles sont mangées en automne comme accompagnement ou comme amuse-gueule. Certains les conservent jusqu'à une année. Toutefois, la récolte et la consommation de sauterelles ont décliné ces dernières années (Nonaka, 2009).

Les sauterelles de rizière sont consommées dans la plupart des pays asiatiques. En Corée, elles étaient couramment consommées en accompagnement, en ingrédient de la gamelle du midi et comme amuse-gueule. La consommation de sauterelles de rizière a décliné durant les années 60 et 70 du fait de l'utilisation accrue d'insecticides. En 1981, les règles autorisant l'utilisation des insecticides ont été assouplies et les agriculteurs ont commencé à en utiliser moins, ce qui a permis aux populations de sauterelles de croître. La diminution de l'utilisation d'insecticides et le souhait de certains Coréens de consommer du riz sans pesticide ont conduit au développement de la riziculture biologique à Chahwang Myun. Ceci était économiquement viable car le rendement des rizières non traitées était identique à celui des rizières traitées, et le riz biologique se vendait à un prix plus élevé. En 1989, la Coopérative agricole de Chahwang Myun, qui à l'origine, achetait, moulait et vendait du riz, s'est mise à acheter aux agriculteurs-récolteurs des sauterelles séchées au soleil. Il y avait trois espèces. *Oxya velox* était l'espèce la plus commune (de couleur jaune-vert et de 27 à 37 mm de longueur, on la trouve au Japon, en Chine, dans la péninsule coréenne et sur l'île de Taïwan), avec 84,5 pour cent du total, suivie par *Oxya sinuosa*, 14,8 pour cent et *Acrida lata*, moins de 1 pour cent. En 1991 et 1992, la Coopérative de Chahwang Myun a continué à acheter et vendre de grandes quantités de sauterelles tandis que de nombreuses personnes allaient en acheter directement aux agriculteurs (Pemberton, 1994).

Il y a quarante ans une pullulation de criquet de Bombay (*Patanga succinta*) a eu lieu dans les cultures de maïs en Thaïlande. L'aspersion d'insecticides par voie aérienne fut un échec et une campagne de promotion de la consommation du criquet de Bombay a été lancée entre 1978 et 1981. Les criquets étaient frits, incorporés dans des biscuits, et fermentés pour constituer une sauce de cuisson. De nos jours, le criquet (frit) est l'un des insectes comestibles les plus renommés et les plus populaires en Thaïlande, et cette espèce n'est plus considérée comme un problème majeur pour l'agriculture. Certains agriculteurs cultivent même du maïs pour nourrir les insectes, plutôt que pour le récolter et le vendre (Hanboonsong, 2010).

La commercialisation des sauterelles dépend fortement de la région. En République démocratique populaire lao, les sauterelles (*Caelifera* spp.) sont plus consommées que les fourmis tisserandes, le deuxième insecte le plus vendu sur le marché (Boulidam, 2010). De nombreuses espèces de sauterelles sont récoltées pour la consommation familiale lors

du défrichage des champs pour la plantation du riz. La cuisson est simple: les sauterelles sont légèrement salées, bouillies dans un peu d'eau puis mijotées jusqu'à évaporation totale de l'eau. Parfois, on les fait sauter, les plus grosses étant frites jusqu'à ce qu'elles soient croustillantes, tout comme des crevettes frites. Elles peuvent être également grillées. Habituellement, les sauterelles sont servies comme un simple plat sans accompagnement de légumes ni de viande (Chung, 2010).

Au Mexique, les sauterelles (*Sphenarium purpurascens*), connues habituellement sous le nom de chapulines, sont une forme populaire de denrée alimentaire de rue. Bien que généralement disponibles sur des étals informels et dans les petits restaurants de la ville, les sauterelles sont maintenant, parmi d'autres insectes, au menu de restaurants plus chers, et des sauterelles séchées et conditionnées peuvent être achetées dans les boutiques gastronomiques (Ramos Elorduy, 2009).

## 2.4 PRINCIPAUX PRODUITS ISSUS DES INSECTES

De nombreux produits fournis par les abeilles – dont, entre autres, le miel, la propolis et la cire – sont connus du public et abondamment traités par Bradbear (2009). Tout le monde sait que le tissu de soie est obtenu du ver à soie. Cependant, le grand public connaît moins la foule d'autres produits issus des insectes, dont beaucoup se retrouvent dans la plupart des placards de cuisine, sous forme de médicaments ou d'autres produits domestiques. Le carmin, par exemple, aussi appelé «rouge de cochenille», est une teinture rouge extraite de cochenilles, typiquement utilisée pour colorer les produits alimentaires et comme teinture pour les textiles et les produits pharmaceutiques. Malgré son utilisation largement répandue et son approbation par l'Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux (United States Food and Drug Administration), le carmin a fait récemment l'objet de controverses, caricaturant les clients d'une chaîne connue de cafés qui utilisait ce produit dans ses boissons (Encadré 2.14). Les chrysalides du ver à soie sont un mets très recherché en Asie (voir la section 2.4.2). Le lerp (voir la section 2.4.3) et une foule d'huiles comestibles extraites des punaises pentatomidés (voir la section 2.4.4) sont d'autres produits d'usage courant, issus des insectes.

ENCADRÉ 2.14

**Utilisation controversée du carmin de cochenille**

Début 2012, une controverse s'est développée autour de la boisson à la fraise Frappucino® de la Compagnie de café Starbucks, après que le célèbre conglomérat international du café ait admis que la couleur rose de sa boisson était due à un extrait de carmin fabriqué à partir de cochenilles déshydratées.

Avant d'utiliser du carmin de cochenille, Starbucks avait utilisé des additifs synthétiques et venait d'opter pour l'utilisation de moyens plus naturels de coloration (Leung, 2012). Lorsque ceci a été porté à l'attention d'un groupe végan[7] aux États-Unis, la controverse s'est propagée comme une traînée de poudre au travers de blogs et de forums sur Internet, puis dans les médias nord-américains.

Dans un commentaire à l'adresse des consommateurs, le président de Starbucks États-Unis annonçait qu'en réponse aux réactions des consommateurs relatives à l'utilisation de carmin de cochenille dans certains de ses produits, la Compagnie utiliserait dorénavant un colorant à base de tomate (Burrows, 2012). Aux États-Unis et au Canada, l'utilisation du carmin de cochenille est autorisée par leurs agences respectives des produits alimentaires et médicamenteux (Santé Canada, 2006; USFDA, 2009).

[7] Le régime végane exclut la consommation de tout animal et de tout produit issu d'un animal, y compris les insectes.

### 2.4.1 Carmin

Le carmin est une teinture rouge obtenue initialement de *Dactylopius coccus* et qui est utilisée dans les industries alimentaires, textiles et pharmaceutiques. L'insecte vit sur le cactus *Opuntia ficus-indica*, qui est cultivé pour son fruit connu sous le nom de figue de Barbarie. Les îles Canaries, le Chili, l'Équateur, le Pérou et l'État plurinational de Bolivie sont les plus gros producteurs de carmin de cochenille. Entre 2000 et 2006, la production mondiale a été multipliée plus de 2,5 fois en raison de la demande du fait de l'intérêt croissant de l'industrie alimentaire pour les colorants naturels (pour des produits tels que les yaourts à la fraise de Campari et Danone). En 2006, la production nationale du Pérou a atteint 2 300 tonnes (85 pour cent de la production mondiale), avec une valeur à l'exportation de 39,6 millions de dollars EU. Les plus grands importateurs de carmin sont le Brésil, le Danemark, la France, l'Allemagne et les États-Unis. Au Pérou, les autres produits issus du carmin de cochenille comprennent la laque carmin (12,9 millions de dollars EU), l'extrait de cochenille séché (3,65 millions de dollars EU) et l'acide carminique (2,03 millions de dollars EU) (Torres, 2008).

En plus de ses utilisations dans l'industrie alimentaire, la production de carmin de cochenille a procuré une multitude de bénéfices sociaux aux Péruviens, parmi lesquels les emplois ne sont pas les moindres. De plus, cette production a été saluée pour ses bénéfices environnementaux, tels que la plantation de la plante hôte des cochenilles, le cactus *Opuntia ficus-indica*, qui protège les espaces ouverts contre l'érosion, régénère la fertilité des sols pour l'agriculture et capture une quantité significative de carbone atmosphérique.

### 2.4.2 Produits du ver à soie

L'élevage du ver à soie est très ancien dans de nombreuses régions asiatiques, de même qu'en Europe, où il a été introduit après les croisades. En Chine, la culture du mûrier remonte à 5 000 ans. La fameuse route commerciale connue sous le nom de Route de la Soie s'étend de l'est de la Chine à la mer Méditerranée, faisant de la soie, parmi d'autres produits, l'objet d'un commerce international dès 139 AEC. L'élevage du ver à soie a un intérêt économique considérable, particulièrement en Chine et en Inde, où la production annuelle atteint respectivement 115 000 et 20 410 tonnes. Plus récemment, le Brésil, la Thaïlande et l'Ouzbékistan ont également produit des quantités significatives.

À côté de celle produite par le ver à soie du mûrier, une production significative de soie est obtenue, par ordre décroissant d'importance, du ver à soie Tussah de Chine (*Antheraea pernyi*), du ver à soie du camphrier (*Eriogyna pyretorum*), du bombyx de l'ailanthe, ou ver à soie thaï (*Philosamia* (= *Samia*) *cynthia ricini*) et de la saturnie du Japon (*Antheraea yamamai*). La production de cocons de ver à soie Tussah de Chine atteignait 60 000 tonnes en 2005. Les papillons mâles sont en outre utilisés dans la fabrication de produits alimentaires de santé et de vins curatifs. De plus, les chrysalides sont traditionnellement consommées et vendues sur de nombreux marchés et dans les épiceries du nord-est de la Chine (Zhang, Tang et Chen, 2008). Les chrysalides du ver à soie sont couramment consommées dans d'autres pays asiatiques dont le Japon et la Thaïlande ainsi que dans la péninsule coréenne.

Le ver à soie thaï est un produit traditionnel qui est maintenant commercialisé à l'échelle mondiale. Ce ver est considéré comme un produit commercialement valable, pas seulement parce qu'il produit des quantités considérables de soie, mais aussi parce que ses chrysalides – considérées comme un mets de choix en Chine, au Japon, en Thaïlande et au Viet Nam – ont une forte teneur en protéines, ce qui en fait une ressource alimentaire de grande valeur. Environ 137 000 familles élèvent des vers à soie en Thaïlande, contribuant à 80 pour cent de la production totale de vers à soie du pays et aux revenus de ménages ruraux pauvres dans tout le pays. Environ 50,8 millions de dollars EU ont été générés par cette production en 2004 (Sirimungkararat *et al*., 2010). Les chrysalides de ver à soie sont vendues préparées, emballées et étiquetées. Ainsi, les chrysalides de ver à soie thaï sont-elles considérées parmi les premiers insectes – si non le premier – sur le marché mondial.

L'intérêt des possibilités d'utilisation des sous-produits des vers à soie et des mûriers pour des objectifs autres que le textile a été souligné à la 22e Conférence de la Commission internationale de sériciculture (ISC, 2011). Les possibilités de production du ver à soie et du mûrier à des fins pharmaceutiques et alimentaires ont également été explorées par la Conférence «La sériciculture pour des produits multiples – Nouvelles perspectives de développement», organisée par l'Association séricicole de la mer Noire, de la mer Caspienne et de l'Asie centrale (BACSA, 2011). En Inde, des travaux de recherche entrepris au Département de sériciculture de l'Université agricole du Tamil Nadu, explorent les possibilités d'utilisation des abondants déchets de l'industrie séricicole comme aliment pour l'aviculture (ISC, 2011). En République de Corée, de la poudre de vers à soie est produite pour servir de médicament pour diabétiques en raison de son effet hypoglycémiant (Ryu *et al.*, 2012).

### 2.4.3 Lerp

Le lerp est une sécrétion sucrée cristallisée produite par les larves de psylles (appartenant à l'ordre des hémiptères) pour former un bouclier protecteur en forme de cône. Les psylles excrètent une gamme de substances car la sève, qu'ils puisent dans le phloème et dont ils se nourrissent, est riche en glucides et pauvre en nutriments essentiels, tels que l'azote; aussi, doivent-ils ingérer de grandes quantités de sève pour obtenir suffisamment de nutriments, le reste étant excrété sous forme de miellat. Les cônes des psylles sont constitués de l'insecte lui-même, de la sécrétion et des cinq exosquelettes dont l'insecte s'est débarrassé lors de ses mues. Ces structures coniques adhèrent fermement aux feuilles. Normalement la totalité du cône est consommée.

Plusieurs centaines d'espèces de psylles producteurs de lerp se trouvent sur *Eucalyptus* spp. en Australie (Yen, 2002). Il existe aussi des espèces productrices de lerp en Afrique et au Japon (quoique probablement une seule espèce pour chacune de ces localisations). Les lerps ont pu évoluer pour lutter contre la dessiccation en milieu aride, et ils sont une source importante de nourriture pour de nombreux oiseaux et mammifères. En Australie, par exemple, le méliphage à sourcils noirs (*Manorina melanophrys*) «élève» les larves de psylle en enlevant les lerps dont il se nourrit, mais en épargnant les larves qui construisent de nouveaux lerps (Austin *et al.*, 2004).

ENCADRÉ 2.15

**Utilisation de cochenilles pour augmenter la production de miel**

La cochenille *Marchalina hellenica* a été introduite dans certaines régions méditerranéennes, principalement en Grèce et en Turquie, pour accroître la production de miel. L'insecte suce la sève de pins comme *Pinus brutia*, *P. halepensis*, *P. sylvestris*, *P. nigra* et *P. pinea*. Le miellat produit par l'insecte est une source importante de nourriture pour les abeilles mellifères qui produisent le miel de pin. Cette infestation artificielle de cochenille par les apiculteurs a provoqué un déséquilibre écologique entre les insectes et leurs prédateurs naturels. De ce fait, les pins des alentours sont attaqués et dépérissants (Gounari, 2006).

Le mot lerp dérive du mot aborigène australien «larp» qui désigne les encroûtements épais qui recouvrent les insectes et qui sont traditionnellement récoltés comme nourriture (Yen, 2005). On pense que la manne, un terme plus large cité dans la Bible et le Coran comme un «don de Dieu» qui «tombait du ciel», est la même substance que l'on trouvait sur le sol des forêts, sur les arbres et les buissons. Alors que le mot «manne» a été également utilisé pour nommer des exsudations sucrées de plantes et des organismes entiers comme les lichens ou les champignons (Harrison, 1950), il a été aussi utilisé pour désigner la manne d'origine animale produite indirectement sur des plantes hôtes,

dont les excrétions de pucerons ou de cochenilles qui sont des insectes se nourrissant en suçant les fluides végétaux.

Parmi ces «mannes», la manne de mopane est produite par le psylle *Arytaina mopane*. Ces insectes se nourrissent en suçant la sève du phloème du mopane (*Colophospermum mopane*), un arbre commun en Afrique australe (Sekhwela, 1988). La chenille mopane (*Imbrasia belina*) peut défeuiller de grandes surfaces de forêts de son arbre hôte; elle entre ainsi en compétition avec la production de manne de mopane (Hrabar *et al.*, 2009). Dans la nature, les espèces animales partagent les mêmes ressources alimentaires et entrent en compétition. La chenille mopane partage sa ressource alimentaire primaire, le mopane, avec les éléphants. Les éléphants cassent souvent pour se nourrir les branches et les troncs des mopanes, détruisant les arbres préférés des papillons femelles pour la ponte. Il n'est pas étonnant que l'effet négatif de l'activité des éléphants sur l'abondance des chenilles mopane ait été noté (Hrabar *et al.*, 2009). Ceci démontre l'interdépendance d'une espèce vertébrée – l'éléphant – et de deux invertébrés, le psylle et la chenille mopane.

La manne de mopane fournit 250 calories pour 100 g. Elle contient un fort pourcentage de monosaccarides et de glucides insolubles dans l'eau, une faible teneur en protéines et une forte concentration en potassium et en phosphore (Ernst et Sekhwela, 1987), ce qui en fait une ressource alimentaire de valeur. Cependant, la manne de mopane n'est disponible qu'en saison sèche, car la pluie lessive le produit sur les feuilles des arbres, mais elle peut être séchée au soleil et entreposée. La manne de mopane est réputée constituer un plat délicieux lorsqu'elle est mélangée à du lait (Sekhwela, 1988).

Le lerp était un mets très populaire parmi les Aborigènes australiens (Bourne, 1953). Les feuilles infestées étaient récoltées et trempées pour dissoudre le sucre qui agissait comme un complément alimentaire. Yen (2002) a décrit comment, dans l'État australien de Victoria, les lerps étaient consommés soit purs, soit mélangés à de la gomme d'arbres du genre *Acacia*. Dans les zones arides, les branches d'eucalyptus infestées étaient récoltées et mises à sécher au soleil et les lerps secs étaient mis en boules pour être consommés à loisir.

### 2.4.4 Huiles comestibles issues des punaises du melon et du mil en République du Soudan

La punaise du melon (*Coridius* [= *Aspongopus*] *viduatus*) est largement répandue dans toute la République du Soudan, principalement dans l'ouest des États du Kordofan et du Darfour, où la culture des pastèques fait partie des plus importantes productions de l'agriculture pluviale. Les petits agriculteurs de ces États considèrent que les pastèques sont une culture stratégique car elles constituent la source principale d'eau de boisson durant l'été et les résidus de récolte servent de fourrage pour le bétail. Pour cette raison, la punaise du melon est toujours vue comme un insecte nuisible – de fait, elle est considérée comme le parasite principal des pastèques en raison des dégâts qu'elle provoque sur cette culture. Aussi bien les larves que les adultes piquent les feuilles, les tiges et les jeunes fruits et sucent leur sève, ce qui provoque leur flétrissement, la chute des fruits et finalement la mort du plant.

Bien que la punaise du melon soit considérée comme nuisible, ses utilisations culinaires sont appréciées dans tout le pays. Les punaises du melon sont généralement cuisinées à leur dernier stade larvaire, lorsque leur corps est relativement tendre. En Namibie, les populations locales récoltent les adultes et les utilisent comme assaisonnement ou comme épice (sous forme de poudre). Dans l'État du Kordofan occidental de la République du Soudan, l'huile extraite des punaises (après trempage dans de l'eau chaude), connue localement sous le nom de «um-buga», est une ressource alimentaire majeure. Elle est aussi utilisée en cuisine dans les zones reculées du Soudan[7] et devient particulièrement importante lorsque la nourriture se fait rare. L'huile de punaise de melon est utilisée

[7] Pour les références au Soudan qui datent d'avant 2011, il se peut que certaines se réfèrent à des lieux correspondant à l'actuel Soudan du Sud.

comme médicament, par exemple pour traiter les lésions cutanées (Mariod, Matthäus et Eichner, 2004).

En plus des bénéfices nutritionnels apportés par les punaises du melon – particulièrement leur huile – les insectes se targuent de propriétés antibactériennes. Mustafa, Mariod et Matthäus (2008) ont testé l'huile contre sept isolats bactériens et ont prouvé une forte activité antibactérienne. Ils ont conclu que l'huile pouvait potentiellement être utilisée comme conservateur pour la viande et les produits carnés pour contrôler les bactéries Gram positif (les bactéries les plus pathogènes pour l'homme sont Gram positif). La recherche a aussi montré qu'il y avait peu de changements dans la composition chimique de l'huile de punaise de melon conservée pendant deux ans à une température inférieure à 30°C. De plus, il a été démontré que la stabilité antioxygène de l'huile de graines de tournesol était améliorée en la mélangeant avec les huiles comestibles très stables de punaise du melon (ainsi que de punaise du mil) (Mariod *et al.*, 2005).

La punaise du mil du Soudan (*Agonoscelis pubescens*), consommée au Soudan, est connue localement sous le nom de «dura» (le parasite principal du mil) aussi bien en agriculture pluviale qu'irriguée. Les punaises hibernent de septembre à décembre, époque à laquelle on les trouve en grappes sur les arbres ou dans les interstices entre les pierres (van Huis, 2003b). Les populations des Monts Nouba du Kordofan sont souvent vues en train de récolter les punaises dans ces interstices. Dans les parties occidentales de Soudan du Sud, les punaises du mil adultes sont récoltées et consommées frites, et, dans certaines zones une huile est extraite des punaises et utilisée en cuisine et en médecine. Dans la région Butana de Soudan du Sud, les nomades utilisent le goudron obtenu en chauffant les punaises pour traiter les infections dermatologiques de leurs chameaux (Mariod, Matthäus et Eichner, 2004). L'utilisation potentielle de ces huiles de punaise comme biodiésel a été étudiée, ouvrant un champ de recherche entièrement nouveau pour l'entomologie (Mariod *et al.*, 2006).

# 3. Culture, religion et histoire de l’entomophagie

> Le dégoût est une de nos émotions les plus fondamentales – la seule que nous devons apprendre – et rien ne le provoque plus surement que l’étrange nourriture des autres. (Herz, 2012)

## 3.1 POURQUOI LES INSECTES NE SONT-ILS PAS CONSOMMÉS DANS LES PAYS OCCIDENTAUX?

Le Croissant fertile, une région qui comprend les terres fertiles de l’Asie de l’Ouest et dans le nord-est de l’Afrique, la vallée et le delta du Nil, serait une des régions qui a vu naître l’agriculture. De là, la production alimentaire (p. ex. la domestication des animaux et des végétaux) s’est rapidement répandue à travers l’Europe (Diamond, 2005). Les animaux sauvages les plus intéressants pour la domestication furent les grands mammifères terrestres herbivores et omnivores. Il y a 14 mammifères domestiqués dans le monde, chacun pesant au moins 45 kg. Remarquablement, l’Eurasie se targue de 13 de ces animaux, le 14e (le lama) était en Amérique. Ces animaux ne produisaient pas seulement de grandes quantités de viande (les faisant les principaux fournisseurs d’aliments d’origine animale), mais aussi de la chaleur animale, des produits laitiers, du cuir, de la laine, de la force de travail pour le labour ou le transport. On pense que c’est en raison de l’utilité de ces animaux que les insectes – à part les abeilles, les vers à soie et les cochenilles – n’ont pas eu de succès en Occident. Les insectes ne pouvaient tout simplement pas offrir les mêmes bénéfices. En revanche, les Shoshones occidentaux du Grand bassin central aux États-Unis dépendaient probablement plus du petit gibier (p. ex. des rongeurs, des lézards et des insectes) car le gros gibier était rare et ne se déplaçait pas en troupeaux (Steward, 1938, cité dans: Dyson-Hudson et Smith, 1978).

La production alimentaire dans le Croissant fertile et en Europe a conduit à la domestication d’une grande variété croissante de plantes et d’animaux. De son côté, l’agriculture a vu des gains incroyables de productivité et de rendements. La nourriture pouvait dorénavant être entreposée, les réserves alimentaires devinrent plus stables, et le mode de vie chasseur-cueilleur laissa la place à un mode de vie plus sédentaire dépendant de l’agriculture. Ce changement essentiel de mode de vie, associé au caractère incertain des insectes comme aliment de base, en raison de leur disponibilité saisonnière, a probablement contribué à la perte d’intérêt pour les insectes comme aliment (DeFoliart, 1999). Bien que la consommation de criquets dans le Croissant fertile soit mentionnée (p. ex. en Israël) (Amar, 2003), ils ne devaient avoir qu’une importance limitée en raison de l’imprédictibilité de leurs pullulations.

Le rôle de l’agriculture sédentaire peut aussi avoir conduit à une perception des insectes comme une nuisance et une menace à l’encontre de la production alimentaire. En bref, les sources de nourriture non domestiquées sont, en général, devenues moins étendues (DeFoliart, 1999). Dans l’agriculture moderne, les agroécosystèmes sont fortement simplifiés: la diversité biologique est faible ainsi que, en général, le potentiel de récolte dans la nature. L’urbanisation, plus grande dans les pays occidentaux, maintient les citadins hors de portée de la nature, à l’inverse de nombreux pays tropicaux où la population a une vie plus rurale, mais ceci est en train de changer (UN, 2012). L’urbanisation croissante va modifier les modes de consommation des insectes dans les régions en développement du monde si l’approvisionnement des villes demeure faible et incertain et si les zones urbaines s’occidentalisent. Par exemple, la consommation de

criquets a disparu dans le Croissant fertile dans les zones caractérisées par une forte occidentalisation (Amar, 2003).

Dans les pays occidentaux, l'entomophagie est perçue avec des sensations de dégoût (Rozin et Fallon, 1987). On peut dire avec certitude que les Occidentaux sont, pour la plupart, réticents à l'idée même de manger des insectes, et, en plus, qu'ils perçoivent cette pratique comme un comportement primitif (Vane-Wright, 1991; Ramos Elorduy, 1997; Tommaseo Ponzetta et Paoletti, 1997). Le dégoût forme la base d'un jugement moral et joue un rôle capital dans le rejet des populations pour une nourriture (Fessler et Navarette, 2003), bien que ce soit une réaction innée (Rozin et Vollmecke, 1986; Herz, 2012). Les sensations de dégoût sont surtout déclenchées par des questions comme: *Qu'est-ce que c'est?* ou: *D'où cela vient'-il?* (Rozin et Vollmecke, 1986). À part les émotions humaines de base, les origines du dégoût s'enracinent dans la culture (p. ex. «le goût est culturel»), ce qui a sans aucun doute un effet majeur sur les habitudes alimentaires. La culture, sous l'influence de l'environnement, de l'histoire, de la structure de la communauté, des activités humaines, de la mobilité et des systèmes politico-économiques, définit les règles de ce qui est comestible et de ce qui ne l'est pas (Mela, 1999). En bref, l'acceptation ou le rejet de l'entomophagie est question de culture (Mignon, 2002) (Encadré 3.1).

ENCADRÉ 3.1

**Crevettes du ciel et grillons des mers**

Les Indiens d'Amérique, tels que ceux qui vivaient librement dans ce qui s'appelle de nos jours l'Utah, étaient très accoutumés à consommer des sauterelles, des criquets et des grillons. La première fois qu'ils ont goûté des crevettes, les Indiens Goshute ont nommé ces créatures «grillons de mer» (Lockwood, 2004).

Récemment, en Australie, Christopher Carr et Edward Joshua du Département des industries primaires de Nouvelle-Galles du Sud ont proposé de renommer les criquets «crevette du ciel», une appellation plus acceptable dans les pays occidentaux, et ont compilé des recettes dans un livre de cuisine, *Cuisiner les crevettes du ciel* (BBC, 2004).

### 3.1.1 Pourquoi les insectes sont-ils plus consommés sous les tropiques que dans les zones tempérées du monde?

Il est généralement admis que la pratique de manger des insectes a lieu exclusivement dans les pays tropicaux. Ce n'est pas tout à fait vrai, car les insectes sont aussi consommés dans des pays partiellement ou entièrement en zones tempérées, tels que la Chine (Feng et Chen, 2003), le Japon (Mitsuhashi, 2005) et le Mexique (Ramos Elorduy, 1997). Même entre les pays tropicaux et à l'intérieur de ceux-ci, il peut y avoir de grandes différences entre les groupes ethniques sur la comestibilité des insectes (Meyer-Rochow, 2005). Toutefois, en général, la consommation des insectes est courante sous les tropiques, alors que dans les zones tempérées elle est souvent absente. Un certain nombre d'assertions en faveur de l'entomophagie sont connues à travers la littérature, bien que certaines soient difficiles à défendre:

- **Les insectes tendent à être plus gros sous les tropiques, ce qui facilite la récolte.** Bien qu'une taille plus grande du corps des insectes soit souvent observée sous les tropiques, comparée à celle observée dans les régions tempérées, ce trait ne peut pas être généralisé (Jansen et Schoener, 1968; Gaston et Chown, 1999). La taille du corps est liée au métabolisme de l'insecte, mais la façon dont apparaissent des corps de différentes tailles n'est pas complètement expliquée (Gaston et Chown, 1999). Cependant, pratiquement tous les insectes de taille exceptionnellement grande appartiennent à des espèces tropicales, et ceci peut être dû, dans une certaine mesure, à la façon dont les insectes respirent. Tout comme les humains, les insectes ont besoin

d'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone ($CO_2$) comme déchet. Cependant, les insectes respirent, à la place de poumons, grâce à un ensemble de tubes appelé le système trachéen. L'échange gazeux se fait dans tout le corps, principalement, par diffusion, ce qui, se produisant plus rapidement à température plus élevée, permet l'apparition de plus gros insectes sous climats plus chauds (Kirkpatrick, 1957). Comme le montrent les restes fossiles, les insectes atteignaient de plus grandes tailles au paléozoïque tardif (Shear et Kukalová-Peck, 1990), certains atteignant un mètre en raison de températures atmosphériques plus élevées.

- **Sous les tropiques les insectes se rassemblent souvent en grand nombre, ce qui permet de récolter en une seule fois de grandes quantités.** Les essaims de criquets s'abattent pour la nuit, rendant la récolte très facile le soir ou tôt le matin. Les termites ailés, qui prennent leur envol nuptial lors de la chute des premières pluies à la fin de la saison sèche, émergent des termitières en grand nombre. Dans les forêts, les chenilles se rassemblent naturellement en masse. Certains insectes se rassemblent aussi dans les régions tempérées, tels que la sauterelle mormone (*Anabrus simplex*) et la chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*). Les Amérindiens consommaient probablement la sauterelle mormone (Madsen et Kirkman, 1988); toutefois, la chenille processionnaire du chêne porte des poils qui peuvent provoquer la papillonite (dermatite, conjonctivite et affection pulmonaire) (Gottschling et Meyer, 2006) et ne devrait pas être consommée.
- **Une diversité d'espèces d'insectes comestibles peut être trouvée tout au long de l'année sous les tropiques.** Dans les zones tempérées, les insectes hibernent pour survivre aux hivers froids. Pendant cette période, aucune espèce active d'insecte ne peut être trouvée, et leur développement s'arrête.
- **Pour de nombreuses espèces d'insectes sous les tropiques, la récolte est prévisible.** Ceci peut n'être pas vrai pour les vols de criquets, par exemple, mais de nombreuses populations locales connaissent où et quand récolter une grande variété d'espèces d'insectes. Ce type de savoir a disparu ou est en train de disparaître dans les zones tempérées et dans les régions en voie d'occidentalisation.
- **Localisation.** Les charançons du palmier, par exemple, sont trouvés dans les palmiers tombés au sol (p. ex. après les typhons en Asie) ou qui ont été abattus intentionnellement pour déclencher la ponte des insectes adultes (Choo, Zent et Simpson, 2009). Les chenilles du bambou sont trouvées dans les tiges de bambou, les bousiers sous les bouses, les termites soldats dans les termitières, et ainsi de suite. De nombreux insectes ont également leurs plantes ou leurs arbres préférés.
- **Période d'abondance.** Ceci peut être saisonnier (souvent en fonction des pluies) ou à une heure préférée du jour. Par exemple, les sauterelles sont récoltées tôt le matin lorsqu'il fait trop frais pour qu'elles puissent voler.

## 3.2 POURQUOI LES INSECTES N'ONT-ILS PAS ÉTÉ DOMESTIQUÉS À DES FINS ALIMENTAIRES?

Les insectes sont considérés comme des mets raffinés dans de nombreuses parties du monde, particulièrement sous les tropiques. Par exemple, l'édition de 1992 du *Malawi Cookbook* (Livre de cuisine du Malawi) présente moult recettes sous le titre «friandises traditionnelles». Il déclare que de nombreuses espèces d'insectes sont très recherchées, dont les larves de charançon du palmier grillées au barbecue et les termites rôtis. Alors pourquoi, à l'exception des abeilles, des cochenilles et du ver à soie, les insectes n'ont-ils jamais été domestiqués?

La domestication des animaux et des plantes a eu lieu il y a des milliers d'années sous différentes formes, apparaissant indépendamment en différents points du globe et à diverses époques. Le Croissant fertile, la Chine, l'Inde, la Mésoamérique (Mexique du Centre et du Sud, et zones adjacentes), les Andes en Amérique du Sud et l'Est des États-Unis, prétendent tous à une production alimentaire à une époque très reculée

(Diamond, 2005). À noter le cas de la Mésoamérique, où les Aztèques ont développé une société complexe avec de fortes densités de populations sans domestication d'animaux de grandes dimensions. On pense qu'une de leurs sources de protéines de base était les insectes et les œufs d'insectes, ces derniers étant produits grâce à des méthodes de production naturelle améliorée dans les marécages et les étangs du plateau central du Mexique (Parsons, 2010) (voir chapitre 4).

Des activités autour de la gestion de diverses ressources non- domestiquées peuvent être observées de nos jours dans les forêts tropicales (Perez, 1995). Les espèces végétales et animales récemment domestiquées comprennent la noix de macadamia (*Macadamia integrifolia*), la carambole (*Averrhoa carambola*), le paca (*Agouti paca*) et l'iguane (*Iguana iguana*) (Vantomme, Gazza et Lescuyer, 2010). D'autres cas de production naturelle améliorée d'insectes comestibles existent (Van Itterbeeck et van Huis, 2012), dont un, bien connu, est celui du charançon du palmier, *Rhynchophorus palmarum*, en Amérique latine (Choo, Zent et Simpson, 2009). Apprivoiser et gérer une espèce sont les premières étapes de la domestication (Barker, 2009); toutefois, les insectes sous production naturelle améliorée et les autres insectes comestibles – à l'exception des abeilles, des cochenilles et du ver à soie – n'ont jamais été domestiqués. Bien qu'une explication simple ne soit pas possible ici, quelques facteurs importants peuvent être décrits.

Il y a 148 espèces de grands mammifères herbivores et omnivores terrestres pesant au moins 45 kg. Le fait que seules 14 d'entre elles ont été domestiquées n'est dû ni à l'ignorance des hommes ni à leur incapacité, mais il est le résultat direct des caractéristiques biologiques intrinsèques des animaux. Diamond (2005) a identifié six caractéristiques qu'un animal doit avoir pour permettre sa domestication:

- un régime alimentaire adéquat (les herbivores sont les plus faciles à garder et les plus efficaces comme ressource alimentaire);
- un taux de croissance élevé (il est plus économique et plus avantageux d'investir dans des animaux à croissance rapide);
- la capacité à être élevé en captivité (certains animaux refusent tout simplement de le faire);
- une disposition à la domestication (p. ex. la domestication du cheval a réussi, mais celle des zèbres a échoué du fait de leur agressivité et de leur tendance à mordre sans relâche);
- un comportement relativement calme (les animaux qui ont tendance à paniquer peuvent créer des situations dangereuses);
- une structure sociale hiérarchique claire (permettant à l'homme de prendre la place du chef).

Tout comme les mammifères, tous les insectes comestibles ne sont pas aptes à la domestication. Cependant, les insectes n'étant pas des mammifères, les caractéristiques énumérées ci-dessus ne peuvent pas être considérées comme infaillibles en évaluant les possibilités de domestication des espèces d'insectes. Gon et Price (1984) ont compilé une liste des caractéristiques favorables pour sélectionner les espèces d'insectes candidates à la domestication (elles sont présentées plus loin, au chapitre 7).

Les contextes historiques, pendant lesquels la domestication des plantes et des animaux a eu lieu, doivent aussi être pris en compte. La domestication des grands animaux (et des plantes) a donné aux Européens un avantage considérable sur les autres régions, qui a été mis en évidence par leurs conquêtes tout autour du monde (Diamond, 2005). Ces conquêtes ont permis aux Européens d'exercer une influence majeure sur la production alimentaire, avec des habitudes, des connaissances, des techniques et des organismes exportés dans le monde entier. Les attitudes négatives mentionnées plus haut, vis-à-vis de la consommation des insectes, faisaient peut-être partie de cet ensemble, tout comme à une époque plus récente (Encadré 3.2). Il est concevable qu'avec plus de temps et sans la colonisation européenne ni les importations, la production naturelle améliorée d'insectes comestibles (ou même la domestication) aurait pu être plus répandue et concerner plus d'espèces.

ENCADRÉ 3.2

**Exemples du Mali et des États-Unis[8]**

Les cultures occidentales ont une histoire embarrassante d'élimination physique, émotionnelle et culturelle des peuples autochtones. Chez 25 à 50 pour cent des tribus amérindiennes, par exemple, il existait une longue histoire de consommation des insectes; or, du fait que les cultures occidentales n'avaient aucune expérience culturelle forte de cette pratique, les Européens la considérèrent primitive, ils la découragèrent et la supprimèrent chez les tribus amérindiennes lorsque ces deux groupes culturels commencèrent à interagir durant les XVIIIe et XIXe siècles. Les cultures occidentales infligèrent les mêmes dommages à d'autres groupes autochtones, dont de nombreux groupes en Afrique subsaharienne, dans le but de les moderniser et de les occidentaliser. Cette suppression culturelle était toujours en vigueur à la fin du XXe siècle. En conséquence, l'entomophagie a presque disparu du Canada et des États-Unis et montre des signes d'essoufflement en Afrique de l'Ouest.

**Mali.** Traditionnellement, les enfants au Mali chassent et consomment les sauterelles en amuse-gueule. Dans le village de Sanambele on peut les voir récoltant les insectes dans les champs de coton. Depuis 2010, cependant, le coton est cultivé comme culture de rente dans des champs plus près du village pour obtenir des rendements élevés dans les champs même où les enfants récoltent les sauterelles. Les conseillers occidentaux préconisèrent aux agriculteurs l'usage de pesticides afin d'obtenir plus de stabilité économique dans la zone, une stratégie basée sur une tolérance zéro pour tout insecte sur toute culture. Le fait que les sauterelles fassent partie de cet agroécosystème et soient essentielles à la santé nutritionnelle des enfants de Sanambele ne fut pas pris en compte. Des données récentes ont montré que 23 pour cent des enfants de Sanambele étaient à présent en danger de malnutrition protéino-énergétique ou déjà mal nourris (un état connu sous le nom de kwashiorkor). Bien qu'elles soient une source protéinique saisonnière, les sauterelles fournissent des protéines en quantité significative pour combler le déficit. Les mères du village de Sanambele, inquiètes de voir leurs enfants exposés aux pesticides, leur interdisent de récolter et de consommer les sauterelles. Les attitudes occidentales vis-à-vis de l'entomophagie ont ainsi abouti à des pratiques dommageables aux gens et à l'environnement fragile de l'Afrique de l'Ouest.

**États-Unis.** Les Utes, étroitement apparentés aux Shoshones orientaux, sont une tribu amérindienne qui vivait dans ce qui est maintenant appelé l'Utah, aux États-Unis, particulièrement autour du Grand Lac Salé. À la fin du XIXe siècle, des colons blancs arrivèrent de l'Est dans des chariots bâchés, avec beaucoup d'espérances, mais avec aucune ou peu de connaissance traditionnelle. Leurs cultures échouèrent en raison de pluies insuffisantes et d'attaques de sauterelles, et il devint évident que les réserves alimentaires ne suffiraient pas aux familles pour passer un hiver rigoureux. Les colons se tournèrent vers les Utes pour leur demander des vivres. Les Utes préparèrent leur plat traditionnel nourrissant riche en protéines, appelé gâteau de la prairie, confectionné à l'aide d'amélanches, de noix locales, et d'autres ingrédients locaux. Les colons blancs les trouvèrent délicieux et les consommèrent durant tout l'hiver. Leurs descendants notent que lorsque les colons ont découvert plus tard qu'un des ingrédients principaux du gâteau de prairie était une variété de sauterelle tettigoniidae (appelée katydid) abondante sur les rives du Grand Lac Salé, ils refusèrent d'en consommer – preuve de l'aversion, il y a 150 ans, dans les cultures occidentales à l'égard des insectes alimentaires. Cette sauterelle tettigoniidae qui a sauvé la vie des colons mormons est appelée de nos jours la sauterelle mormon.

---

[8] Cet encadré a été rédigé par Florence Dunkel.

## 3.3 ATTITUDES NÉGATIVES VIS-À-VIS DES INSECTES

On peut dire avec certitude que les perceptions négatives des insectes sont, dans l'ensemble, pleinement enracinées dans les sociétés occidentales (Kellert, 1993). La récolte des insectes a été associée à l'ère des chasseurs-cueilleurs et ainsi, à une forme «primitive» d'acquisition de la nourriture. Avec l'apparition de l'agriculture et de modes de vie sédentaires, les insectes sont de plus en plus perçus comme des nuisibles (Pimentel *et al.*, 1975; Pimentel, 1991). Ceci est en contraste absolu avec de nombreuses régions tropicales du monde, où les insectes jouent des rôles décoratifs, sont utilisés pour divertissement, en médecine, en sorcellerie, et sont présents dans les mythes, les légendes et les danses (Meyer-Rochow, 1979; Yen *et al.*, 2013).

Dans les sociétés occidentales – où les protéines proviennent toujours principalement des animaux domestiques – les insectes sont virtuellement synonymes de nuisances: les moustiques et les mouches envahissent les maisons, les premiers laissant derrière eux des piqûres indésirables; les termites détruisent les ouvrages en bois; et certains insectes finissent dans nos plats (déclenchant une réaction de dégoût). Certains insectes transmettent aussi des maladies (Kellert, 1993): un vecteur mécanique tel que la mouche domestique peut, par exemple, porter un agent infectieux à la surface de son corps et le déposer sur des aliments avant leur consommation. Les vecteurs biologiques comme les moustiques, les tiques, les puces et les poux hébergent des pathogènes et sont souvent responsables de maladies sérieuses transmises par le sang comme le paludisme, l'encéphalite virale, la maladie de Chagas, la maladie de Lyme et la maladie africaine du sommeil. Des arthropodes comme les araignées ont été associés avec des maladies et des infections, particulièrement en Europe, depuis le X^e siècle (Davey, 1994). Les papillons et les coccinelles figurent parmi les rares insectes qui ne provoquent pas l'aversion, l'évitement, le dégoût et le dédain (Kellert, 1993; Looy et Wood, 2006). Peu nombreux sont ceux qui réalisent que la plupart des insectes sont bénéfiques et que très peu sont dommageables.

L'attitude occidentale de dégoût vis-à-vis de la consommation des insectes a sans doute également influencé les préférences alimentaires des populations dans les pays tropicaux. Selon Silow (1983): «Il est connu que certains missionnaires ont condamné la consommation de termites ailés comme coutume païenne» et pour cette raison, lui a dit un chrétien, «il ne goûterait jamais de telles choses, car elles sont fortement non chrétiennes indiens Goshute». Au Malawi, la recherche a montré que les personnes vivant en zone urbaine et fervents chrétiens réagissaient avec dédain à la consommation d'insectes (Morris, 2004). En conséquence de ces influences occidentales, principalement en Afrique, les recherches sur la contribution des insectes comestibles à l'alimentation et à l'économie et sur l'écologie et la biologie de ces espèces ont été sporadiques (Kenis *et al.*, 2006). Cependant, l'utilisation des insectes dans l'alimentation persiste, bien que cela puisse être admis seulement avec réticence par les consommateurs (Tommaseo Ponzetta et Paoletti, 1997). D'après DeFoliart (1999), «Les Occidentaux devraient reconnaître que leur parti pris contre les insectes en tant qu'aliments, a eu un impact négatif, résultant en une diminution graduelle de l'utilisation des insectes sans que la perte alimentaire ne soit remplacée, ni les autres bénéfices.»

Néanmoins, les attitudes occidentales sont en train de changer, comme l'ont noté certains chercheurs: «Les insectes ont été pendant longtemps un composant alimentaire important dans les régions les plus pauvres du monde, et il est grand temps que les scientifiques le reconnaissent et progressent dans cette voie, au lieu de décourager ou ignorer cette pratique» (Ramos Elorduy, 1990).

## 3.4 HISTOIRE DE L'ENTOMOPHAGIE

### 3.4.1 Entomophagie et religion

Les pratiques alimentaires sont influencées par la culture, qui a été influencée historiquement par les croyances religieuses. La pratique de consommer des insectes est mentionnée

d'un bout à l'autre de la littérature religieuse des fois chrétienne (Encadré 3.3), juive et islamique. La Bible parle des criquets comme aliment dans le Lévitique, faisant plus probablement référence au criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*[9].

> Mais de tout ce qui vole et qui marche sur quatre pieds, vous mangerez ceux qui ont des jambes au-dessus de leurs pieds, pour sauter sur la terre. (Lévitique XI: 21)
>
> Voici ceux que vous mangerez: le criquet, le criquet chauve, le coléoptère et la sauterelle, selon leurs espèces. (Lévitique XI: 22)

ENCADRÉ 3.3

**L'entomophagie et le christianisme au XXI^e siècle**

En 2012, un prêtre danois s'est servi de l'entomophagie pour démontrer à son assemblée l'histoire de saint Jean-Baptiste. Le Nouveau Testament décrit explicitement les sources de protéines de saint Jean:

> Jean était vêtu de poil de chameau, avec une ceinture de cuir autour des reins; il se nourrissait de sauterelles et de miel sauvage. (Marc 1: 6)

Cette démonstration ne fut pas acceptée par un des pratiquants qui s'est plaint. Selon l'évêque danois, cependant, le prêtre n'avait commis aucun péché car il expliquait les mots de la Bible. Le plaignant quitta l'église en raison de la publicité que le prêtre faisait pour la consommation des sauterelles.

*Source:* Rohde, 2012.

Il y a dans la tradition islamique plusieurs références à la consommation des insectes – dont les criquets, les abeilles, les fourmis, les poux et les termites (El-Mallakh et El-Mallakh, 1994). La grande majorité des références sont relatives aux criquets, mentionnant spécifiquement la permission de les consommer:

> Il est permis de manger les criquets. (Sahih Muslim, 21.4801)
> Les criquets sont le gibier de la mer; vous pouvez les manger. (Sunaan ibn Majah, 4.3222)
> Les criquets sont les troupes d'Allah, vous pouvez les manger. (Sunaan ibn Majah, 4.3219, 3220)

L'entomophagie est également présente dans la littérature juive. Amar (2003) a suggéré que la consommation de certaines espèces de criquets kascher était largement acceptée dans l'ancien temps. Cette habitude déclina, cependant, dans une partie considérable de la diaspora juive en raison de la méconnaissance des différents types de «choses ailées grouillantes» mentionnées dans la Torah. La tradition ne fut seulement maintenue que parmi les juifs du Yémen et dans certaines parties de l'Afrique du Nord. Amar (2003) a prétendu que l'occidentalisation a poussé les juifs qui auparavant mangeaient des criquets à changer leurs habitudes.

### 3.4.2 L'entomophagie dans les temps anciens

L'histoire de l'entomophagie a été bien étudiée par Bodenheimer (1951). Au Moyen Orient, dès le VIII^e siècle AEC, on pense que des serviteurs étaient chargés de disposer des criquets sur des brochettes pour les banquets royaux dans le palais d'Assurbanipal

[9] Les citations de la Bible ont été fournies par Jørgen Eilenberg.

(Ninive). La première référence sur l'entomophagie en Europe concerne la Grèce, où les cigales étaient un délice. Aristote (384 – 322 AEC) a écrit dans son *Historia Animalium*: «La larve de cigale, lorsqu'elle atteint sa pleine taille dans le sol, devient une nymphe; alors elle a le meilleur goût avant que sa carapace n'éclate [c'est-à-dire, avant la dernière mue].» Il a aussi mentionné que, parmi les adultes, les femelles avaient meilleur goût après l'accouplement car elles sont pleines d'œufs.

Des références à l'entomophagie se retrouvent dans toute la région et tout au long des siècles (Encadré 3.4). Au 1er siècle AEC, Diodore de Sicile appelait les peuples habitant l'Éthiopie *Acridophagi*, c'est-à-dire «mangeurs de criquets et de sauterelles» (famille des Acrididae, ordre des Orthoptères). Dans la Rome antique, l'écrivain, philosophe et naturaliste Pline l'Ancien – auteur de l'encyclopédie *Historia Naturalis* – a parlé de «cossus», un plat très convoité par les Romains. D'après Bodenheimer (1951), cossus est la larve du capricorne *Cerambyx cerdo*, qui vit sur les chênes.

ENCADRÉ 3.4
**La consommation des insectes au cours des siècles**

Les nomades d'Arabie et de Libye accueillent l'apparition des essaims de criquets avec joie. Ils les font bouillir et les consomment, en font sécher d'autres au soleil et les réduisent en farine pour une consommation future – Léon l'Africain, au Maroc, en 1550.

Les soldats allemands en Italie, consommaient sans cesse et avec un plaisir manifeste des vers à soie frits – Ulysse Aldovandi dans son traité de 1602, *De Animalibus Insectis Libri Septem*.

Avec le temps, nous pouvons dépasser notre répugnance à consommer des insectes, à les accepter dans nos plats, et alors reconnaître que non seulement ils ne sont pas à craindre, mais qu'ils peuvent même nous offrir des impressions agréables. On s'est accoutumé à manger les grenouilles, les serpents, les lézards, les crustacés, les huîtres, etc. dans les diverses provinces de France. Peut-être que celui qui en a mangé le premier y a été forcé par une faim pressante – René Antoine Ferchault de Réaumur dans *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes*, 1737.

La plupart des Africains, plusieurs peuples de l'Asie et particulièrement les Arabes, mangent avec plaisir des sauterelles… L'on en voit dans leurs marchés des tas considérables de grillées ou de frites. En cet état, l'on peut les conserver quelque temps, en les saupoudrant d'abord d'un peu de sel. C'est ce que font les patrons des embarcations du pays. Ceux avec qui j'ai été passager en servaient au dessert ou en prenant le café … Quoi qu'il en soit, il est certain que cet aliment n'offre rien qui doive répugner à la vue, ni à l'imagination. Le goût en est assez approchant de celui de la crevette, et peut être même il est plus délicat, surtout celui des femelles pleines d'œufs. – Foucher d'Obsonville dans son ouvrage de 1783 *Essais philosophiques sur les mœurs de divers animaux étrangers avec des observations relatives aux principes et usages de plusieurs peuples*.

La littérature de l'ancienne Chine cite également l'entomophagie. L'*Histoire de la pharmacopée naturelle* de Li Shizhen, un des plus grands livres et des plus complets sur la médecine chinoise de la dynastie Ming (1368 – 1644), présente une liste impressionnante d'aliments comprenant de très nombreux insectes. Cet ouvrage souligne en outre les bienfaits médicaux des insectes.

### 3.4.3 L'entomophagie des temps modernes

L'entomologiste et naturaliste italien Ulisse Aldovandi, né en 1522, est considéré comme le fondateur des études modernes sur les insectes. L'ouvrage d'Aldovandi *De Animalibus Insectis Libri Septem*, publié en 1602, est riche en références et concepts dérivés de ses études ainsi que de ses propres observations. Aldovandi, un spécialiste des cigales, a

suggéré que les insectes étaient, plusieurs siècles avant notre ère, un aliment important dans les civilisations anciennes de l'Extrême-Orient, c'est-à-dire en Chine.

Cependant, ce n'est pas avant le XIX^e siècle, lorsque les explorateurs ont rapporté leurs observations des pays tropicaux, que le monde occidental se familiarisa avec l'entomophagie. Les récits des explorateurs de l'Afrique, tels que ceux de David Livingstone et de Henry Morton Stanley, qui mentionnaient des faits relatifs à la consommation d'insectes, ont contribué à présenter cette pratique en Occident. En 1857, l'explorateur allemand Heinrich Barth, par exemple, a écrit dans son livre *Voyages et découvertes dans le nord et le centre de l'Afrique* que les populations qui mangeaient des insectes «non seulement aiment le goût agréable de ce plat, mais aussi prennent une revanche plaisante sur les ravageurs de leurs champs», une perspective intéressante sur les ravageurs agricoles.

Aux États-Unis, les essaims de criquets des Montagnes Rocheuses (*Melanoplus spretus*) déferlaient sur l'ouest américain (jusqu'au Canada au nord) dévastant les communautés agricoles (Lockwood, 2004). Une observation célèbre a estimé que les criquets ont balayé 513 000 km$^2$. Le poids de l'essaim était estimé à 27,5 millions de tonnes et était formé par 12 500 milliards d'insectes, ce qui, selon le *Livre Guiness des records*, représente la plus grande concentration d'animaux jamais observée.

L'entomologiste américain de renom Charles Valentine Riley, nommé en 1868 Premier entomologiste de l'État du Missouri, a étudié le criquet des Montagnes Rocheuses, fléau qui a envahi de nombreux États de l'Ouest entre 1873 et 1877. Il a préconisé de lutter tout simplement contre les criquets en les mangeant (Lockwood, 2004):

> Chaque fois que l'occasion s'est présentée, j'ai consommé des criquets cuisinés de différentes façons, un jour, je n'ai rien mangé d'autre, et j'ai dû consommer, sous une forme ou sous une autre, l'équivalent de plusieurs milliers de larves de criquet. Commençant les expériences avec une certaine appréhension, et m'attendant à avoir à surmonter un goût désagréable, j'ai été rapidement très agréablement surpris de voir que les insectes avaient un goût acceptable, de quelque façon qu'ils aient été préparés. Le goût des criquets crus est très fort et désagréable, mais celui des insectes cuits est agréable. Il est suffisamment léger pour être neutralisé en les mélangeant avec quoi que ce soit. Il faut admettre qu'il est facile à cacher en fonction du goût et des envies. Mais le point principal que je tiens à souligner est qu'ils ne nécessitent ni préparation élaborée, ni assaisonnement…

Toutefois, c'est l'entomologiste britannique V. M. Holt qui a incontestablement eu le plus grand impact en portant les insectes à l'attention d'un plus large public grâce à son petit livre publié en 1885: *Why Not Eat Insects?* (Pourquoi ne pas manger les insectes?). Dans son livre il priait ses compatriotes anglais de considérer la possibilité de manger des insectes:

> Une des questions permanente de ce jour est: Comment un agriculteur peut-il combattre le plus efficacement les insectes qui dévorent ses cultures? Je suggère que ces insectes dévoreurs soient récoltés par les pauvres pour se nourrir. Pourquoi pas? (Holt, 1885: 14-15)

Les arguments de Holt s'appuyaient sur les hautes valeurs morales victoriennes, notamment nourrir les pauvres et conserver les ressources (Friedland, 2007). Holt était particulièrement perplexe par le refus de considérer les insectes comme des aliments, alors que la composition des autres animaux estimés des mets délicats, tels que les langoustes, était pratiquement la même. Cependant, il distinguait les insectes impurs et donc non comestibles (tels que les mouches communes ou les nécrophores) et les insectes purs (tels que les hannetons et les sauterelles). Holt connaissait également la place de l'entomophagie dans d'autres cultures:

> Si je mets en avant des exemples des temps anciens, ou de ces pays qui, de nos jours, sont appelés non civilisés, je prévois que l'on va m'opposer l'argument, «Pourquoi devrions-nous imiter les races non civilisées?» Mais après examen, on trouvera que, bien que non civilisés, la plupart de ces peuples sont plus pointilleux que nous sur la qualité de leurs aliments. Ils nous regardent avec une bien plus grande horreur pour notre consommation d'un animal sale comme le porc ou d'huîtres crues, que nous ne le faisons à leur égard lorsqu'ils apprécient un plat convenablement cuisiné de criquets ou de vers de palmier. (Holt, 1885)

Avec une telle opinion en 1885, Holt était clairement en avance sur son temps et l'entomophagie ne fut pas adoptée par la culture gastronomique anglaise.

# 4. Les insectes comestibles, ressource naturelle

## 4.1 ÉCOLOGIE DES INSECTES COMESTIBLES

Les insectes comestibles font partie des produits forestiers non ligneux (PFNL) et sont récoltés dans la nature (Boulidam, 2010). Les insectes comestibles se trouvent dans une grande diversité d'habitats, tels que les écosystèmes aquatiques, les forêts et les terres cultivées. À plus petite échelle, les insectes comestibles peuvent s'alimenter sur les feuilles des plantes (p. ex. les chenilles), sur les racines (p. ex. les larves du «witchetty»), sur les branches ou le tronc des arbres (p. ex. les cigales) ou dans le sol (p. ex. les bousiers).

L'écologie des insectes peut être définie comme l'interaction des insectes individuels ou des communautés d'insectes avec l'environnement proche. Ceci implique des processus tels que le recyclage des nutriments, la pollinisation et les migrations, ainsi que la dynamique des populations et le changement climatique. Bien que plus de la moitié des organismes vivants connus soient des insectes, les connaissances sur l'écologie des insectes sont limitées. Certaines espèces, considérées depuis longtemps précieuses pour leurs produits – telles que les abeilles, les vers à soie et les cochenilles à carmin – sont bien connues, tandis que les connaissances sur de nombreuses autres espèces restent rares. Ce chapitre met l'accent sur la nécessité d'étudier spécifiquement l'écologie des insectes comestibles et montre comment cette connaissance pourrait être utilisée.

## 4.2 RÉCOLTE DANS LA NATURE: RISQUES POTENTIELS ET SOLUTIONS

Les insectes fournissent des services écosystémiques essentiels tels que la pollinisation, le compostage, la protection contre les incendies et la lutte contre les ravageurs (Losey et Vaughan, 2006) (voir chapitre 2). Les insectes comestibles tels que les abeilles, les bousiers et les fourmis tisserandes, consommés extensivement sous les tropiques, fournissent un grand nombre de ces services écologiques. Jusqu'à récemment, les insectes comestibles semblaient une ressource apparemment inépuisable (Schabel, 2006). Cependant, comme la plupart des ressources naturelles, certaines espèces d'insectes comestibles sont menacées. Ramos Elorduy (2006) a identifié 14 espèces d'insectes comestibles menacées dans le seul État d'Hidalgo, au Mexique, dont le ver rouge de l'agave maguey (*Comadia redtenbacheri*) (= *Xyleutes redtenbacheri*), qui est consommé dans le mezcal, les fourmis de la Réserve Navajo (appelées escamoles au Mexique) (*Liometopum apiculatum*) et le charançon de l'agave (*Scyphophorus acupunctatus*).

Plusieurs facteurs anthropiques menacent les populations d'insectes comestibles. La récolte, elle-même, peut entrer en **compétition directe** avec les autres prédateurs, sapant la viabilité des populations (Choo, 2008). Maintes espèces d'insectes comestibles sont les proies ou les hôtes d'autres espèces d'insectes (telles que, respectivement les coccinelles et les guêpes parasites) et de nombreux autres organismes dont des oiseaux, des araignées, des mammifères, des amphibiens, des reptiles et des poissons. Les effets de la diminution des populations d'insectes sur leurs prédateurs sont inconnus. De nombreuses espèces d'insectes comestibles sont elles-mêmes prédatrices ou décomposent la matière organique. La diminution de leur nombre peut avoir des effets négatifs sur les populations d'autres espèces d'insectes et affecter les fonctions de l'écosystème. La **surexploitation** est un autre grand défi, aussi bien pour l'entomophagie actuelle que future (Morris, 2004; Schabel, 2006), particulièrement si le nombre d'individus

(immatures ou adultes) prélevés dépasse les capacités de régénération (Cerritos, 2009). De plus, la stabilité et la régénération des populations d'insectes comestibles sont menacées si les techniques de récolte deviennent moins sélectives (Latham, 2003; Illgner et Nel, 2000; Ramos Elorduy, 2006). Ceci arrive, par exemple, lorsque les insectes adultes sont capturés avant leur premier accouplement ou avant la ponte des œufs (Cerritos, 2009). De plus, de nombreuses zones sont en «accès libre», et des efforts accrus de récolte pourraient menacer les populations existantes (Akpalu, Muchapondwa et Zikhali, 2009) (Encadré 4.1). Les choses se compliquent encore plus par le fait que les connaissances des populations autochtones – qui souvent comprenaient la gestion durable des insectes comestibles et de leur habitat – sont en train de disparaître progressivement (Kenis *et al.*, 2006), et que des récolteurs inexpérimentés recourent à des **méthodes de récolte non durables** (Ramos Elorduy, 2006; Choo, 2008).

ENCADRÉ 4.1
**La République démocratique populaire lao**

Dans le village de Dong Makkhai en République démocratique populaire lao, 21 espèces d'insectes comestibles sont récoltées et vendues au marché de vivres frais de Sahakone Dang Xang. En moyenne, 23 pour cent des revenus domestiques combinés du village proviennent de la production et de la vente des insectes comestibles. Les plus appréciés par les consommateurs sont les «œufs» de fourmis (larves et nymphes de *Oecophylla smaragdina*), les sauterelles (différentes espèces), les grillons (*Tarbinskiellus portentosus*, *Teleogryllus mitratus* et *Acheta domesticus*), les guêpes (*Vespa* spp.), les cigales (*Orientopsaltria* spp.) et les abeilles (*Apis* spp.). Actuellement, les récolteurs déclarent qu'ils ont besoin, pour récolter les mêmes quantités d'insectes comestibles, de plus de temps qu'il ne leur en fallait dix ans plus tôt, vraisemblablement du fait de l'augmentation du nombre des récolteurs.

*Source:* Boulidam, 2010.

Enfin, comme pour beaucoup d'autres ressources naturelles, les dégradations de l'habitat, tels que la déforestation, la dégradation des forêts et la pollution (p. ex. par les insecticides), ont augmenté le stress des populations d'insectes comestibles (Morris, 2004; Ramos Elorduy, 2006; Schabel, 2006). Les arbres hôtes sont fréquemment abattus pour accroître et faciliter la récolte des insectes, comme par exemple, dans le cas des chenilles comestibles qui se nourrissent des feuilles du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), avec des conséquences évidentes sur les récoltes futures (Vantomme, Göhler et N'Deckere-Ziangba, 2004). Souvent, les dégâts à l'environnement proviennent d'autres activités agricoles, tels que l'exploitation du bois ou le pâturage (FAO, 2004). Ces effets sur l'habitat des insectes influencent invariablement leur abondance et leur répartition (FAO, 2011c). Pour cette raison, la façon dont le changement climatique va affecter les populations d'insectes comestibles tropicaux est toujours relativement inconnue. L'accroissement des températures pourrait induire la croissance des populations, quoique les périodes de chaleur extrême ou de sécheresse puissent aussi entraîner leur déclin (Toms et Thagwana, 2005). La répartition des espèces pourrait aussi être affectée.

Les problèmes auxquels sont confrontées les populations d'insectes comestibles sont directement liés à leur récolte et sont profondément enracinés dans l'utilisation non durable de la nature par l'humanité. Il est possible que la récolte des insectes comestibles va se révéler être une menace pour certains services écosystémiques essentiels si cette pratique devient commerciale sans qu'une attention suffisante soit portée à la gestion durable de ces populations d'insectes (Encadrés 4.2 et 4.3).

ENCADRÉ 4.2

**La récolte des insectes sauvages en Asie et dans le Pacifique, passée, présente et future**

Autrefois, la plupart des insectes récoltés dans la nature en Asie et dans le Pacifique étaient consommés exclusivement au niveau du village, et les quantités récoltées étaient déterminées par les besoins personnels de consommation. De nos jours, les insectes récoltés dans la nature sont devenus une source additionnelle de revenus. Lorsque cela est possible, une plus grande quantité d'insectes est récoltée, afin qu'une partie de la récolte puisse être vendue sur le marché, et le reste est réservé à la consommation personnelle. Lorsqu'il y a moins d'insectes à récolter, une plus faible quantité est directement consommée et les revenus obtenus au marché sont utilisés pour acheter des aliments de moins bonne qualité sanitaire. Un accès amélioré à la ressource en insectes (grâce à de nouvelles routes et des moyens de transport modernes) a augmenté le nombre de récolteurs, parfois venant de loin. Réciproquement, ceci a également permis aux villageois locaux de transporter leurs captures sur de plus grandes distances et vers de plus grands marchés.

La demande accrue a aussi provoqué un stress sur les populations d'insectes et sur leur environnement. Actuellement, il y a néanmoins un manque d'information sur la durabilité de la récolte d'insectes comestibles dans la nature et sur ses implications écologiques. En plus de l'adoption de méthodes de récolte durable, d'autres formes de production des insectes comestibles ont montré leur potentiel pour réduire la pression sur les populations sauvages d'insectes comestibles, dont la gestion de l'habitat, le petit élevage contrôlé en milieu confiné (p. ex. cages et mares) et les systèmes de production industrielle (usines). Les espèces susceptibles d'être élevées restent à identifier. Tirer avantage de la grande diversité des invertébrés devrait permettre de diminuer la vulnérabilité aux chocs imprévisibles tels que les maladies ou la variabilité climatique.

*Source:* Yen, 2012.

ENCADRÉ 4.3

**La chenille du mopane et autres chenilles africaines**

Les populations de chenilles du mopane ont diminué depuis que la commercialisation a atteint son plein développement dans les années 90. Ces populations ont fait face aux mêmes problèmes que beaucoup de PFNL: une fois qu'un marché significatif est trouvé, la pression de surexploitation devient intense, ce qui conduit généralement à une utilisation non durable de la ressource (Sunderland, Ndoye et Harrison-Sanchez, 2011). La pauvreté, l'insécurité alimentaire et les calamités environnementales font aussi partie du problème.

Autrefois, des restrictions étaient souvent imposées à la récolte des chenilles (p. ex. la première génération de *Cirina forda* était traditionnellement épargnée «pour les oiseaux» et la deuxième génération seulement était récoltée; Latham, 2003). Cependant, la pauvreté générale dans les zones rurales, associée à une pauvreté croissante dans les centres urbains, a poussé à la surexploitation. Ceci a transformé la promesse d'une nouvelle source de revenus et de protéines moins chères en un dilemme de conservation. La surexploitation des chenilles du mopane au Zimbabwe, entre autres pays, a compromis la production de chenilles pour plusieurs années (Roberts, 1998; Illigner et Nel, 2000), et même si les conditions environnementales devenaient optimales, les populations seraient incapables de récupérer. Les calamités environnementales telles que de mauvaises récoltes agricoles

*Suite page suivante*

*Encadré 4.3 (suite)*

dues à la sécheresse vont provoquer un accroissement des récoltes de cette ressource bon marché et, en général, en accès libre. Ceci s'est déjà produit dans de nombreuses zones de la région (Toms et Thagwana, 2005).

En outre, lorsque les chenilles sont inaccessibles, les personnes à la recherche désespérée de moyens de subsistance, abattent les arbres, une pratique traditionnellement réprouvée, car la perte des arbres hôtes est préjudiciable à la survie des populations futures (Latham, 2003; Morris, 2004; Toms et Thagwana, 2005). La détermination des niveaux de prélèvements durables est cependant une tâche difficile et reste un point clef pour le développement futur du secteur, surtout parce que plusieurs variables sont nécessaires à la détermination du niveau des populations. Le caractère saisonnier de la ressource et l'imprévisibilité des pullulations, associés à une large gamme de facteurs biologiques et environnementaux, entre autres, rendent cette question sujette à controverses (Stack *et al.*, 2003; Ghazoul, 2006). Il faudra étudier ces questions si le secteur doit se développer durablement et contribuer aux modes de vie et aux moyens de subsistance en Afrique australe.

De nombreuses communautés locales sont parfaitement au courant du caractère hasardeux de ces pratiques qui dégradent les boisements à mopane. Elles sont également conscientes de l'importance de mesures efficaces de protection, dont la gestion appropriée des incendies, la surveillance des chenilles et de leur développement, la protection de leurs habitats spécifiques, et le respect des périodes d'interdiction de récolte (Holden, 1991; Mbata, Chidumayo et Lwatula, 2002; Toms et Thagwana, 2005). La question est de savoir si ces initiatives locales sont réalistes dans leur contexte socioéconomique. Le lien entre pauvreté et environnement n'est pas nouveau; les incitations économiques et nutritionnelles conduisent généralement les communautés locales à surexploiter la ressource pour obtenir les moyens de subsistance qui leur sont nécessaires. Les politiques de conservation doivent en tenir compte. Par exemple, la récolte en début de saison va conduire à la surexploitation de jeunes chenilles, ce qui est un gaspillage. Toutefois, les efforts pour limiter les périodes de récolte des chenilles du mopane doivent fournir aux populations locales des alternatives pour leur alimentation et pour leurs moyens de subsistance. De plus, dans certaines zones, les croyances locales ne reconnaissent pas les cycles de vie des chenilles du mopane, et la gestion de leur habitat (p. ex. les périodes d'interdiction de récolte) n'est donc pas perçue comme une nécessité (Toms et Thagwana, 2005). Les mesures de gestion doivent équilibrer les objectifs écologiques, sociaux, culturels, aussi bien qu'économiques, afin d'obtenir quelque chance de succès.

## 4.3 CONSERVATION ET GESTION DES RESSOURCES EN INSECTES COMESTIBLES

Parmi les gestionnaires forestiers, il y a peu de connaissances, ni d'évaluation, du potentiel de gestion et de récolte durables des insectes. Il n'y a également presque aucune connaissance ni expérience de travail sur la végétation ou sur les techniques de récolte pour augmenter, accroître au maximum ou assurer la durabilité des populations d'insectes. Effectivement, du fait que de nombreux insectes provoquent des dégâts importants et la mort d'arbres de grande valeur commerciale, nombre de gestionnaires forestiers considèrent virtuellement tous les insectes comme des nuisibles potentiellement destructeurs. Ce qui existe des connaissances sur la gestion des insectes est détenu par les personnes habitant les forêts ou qui en dépendent (Durst et Shono, 2010).

Les scientifiques distinguent, en général, trois niveaux de biodiversité: des écosystèmes, des espèces et la biodiversité génétique. À tous ces trois niveaux, on pense que la biodiversité peut contribuer significativement à la sécurité alimentaire et à l'amélioration de la nutrition (Toledo et Burlingame, 2006). Du fait des services écologiques que procurent les insectes, estimés vitaux pour l'humanité, la conservation des insectes et des habitats qu'ils occupent a reçu récemment plus d'attention (DeFoliart, 2005; Samways, 2007).

La promotion «d'espèces emblématiques» est utilisée afin de stimuler l'intérêt du public pour les actions de conservation (Simberloff, 1998). De la même manière, les biologistes conservateurs ont identifié des «espèces parapluie» dont la protection est supposée bénéficier indirectement à un grand nombre d'espèces naturellement cohabitantes et à leurs habitats (Roberge et Angelstam, 2004). Bien que ces espèces soient surtout de grands mammifères emblématiques, tels que les pandas géants et les tigres, la possibilité que des espèces d'insectes comestibles soient sélectionnées comme «espèces emblématiques» et/ou «espèces parapluie» protégeant d'autres ressources naturelles, mérite attention, et pas uniquement pour le rôle précieux qu'elles ont dans la fourniture de services écosystémiques essentiels (Yen, 2009; DeFoliart, 2005). Néanmoins, pour que ceci puisse se faire, la connaissance taxonomique des insectes – qui demeure toujours loin derrière celle des vertébrés et des plantes – doit être améliorée (Winfree, 2010). Il y a aussi relativement peu d'informations dans la littérature sur les menaces contemporaines, la conservation et les besoins de gestion des espèces d'insectes (comparées à celles sur les espèces animales et végétales) (Yen, 2012). Bien que les insectes représentent la plus grande partie de la biodiversité dans tous les écosystèmes forestiers, ils restent les moins étudiés des organismes forestiers (Johnson, 2010).

Samways (2007) a proposé une contribution rare et néanmoins prometteuse pour la conservation des insectes en décrivant en détail comment les populations d'insectes et leurs habitats peuvent être gérés et contrôlés efficacement, et en identifiant les six principes suivants pour maintenir des niveaux adéquats de populations d'insectes: maintenir des réserves; maintenir autant que possible des paysages hétérogènes de qualité; réduire les contrastes entre les parcelles épargnées et les parcelles voisines dégradées; conserver, en dehors des réserves, du terrain pour les insectes; simuler les conditions naturelles et les perturbations; et relier entre elles des parcelles d'habitat de qualité similaire. Boulidam (2010) a ajouté que les actions de gestion des insectes comestibles doivent se concentrer sur les espèces de plus grande valeur et au plus grand potentiel. Ces principes sont particulièrement importants pour les experts forestiers, écologistes et entomologistes. Toutefois, les actions de conservation des insectes demeureront vainse sans un appui approprié des organismes nationaux et internationaux de recherche et de développement ainsi que des communautés locales (Schabel, 2006; Cerritos, 2009; Boulidam, 2010).

Les lacunes actuelles de connaissance de l'écologie des insectes sont un obstacle majeur au développement et à la durabilité de l'entomophagie. Les questions qui demandent des efforts urgents de recherche comprennent l'identification des espèces d'insectes comestibles, l'évaluation des populations, la connaissance de l'écologie et de la biologie des espèces, de leurs habitats et des facteurs qui déterminent leur abondance. Une meilleure connaissance des facteurs tels que les pics d'abondance, les dynamiques des populations et les cycles biologiques, est essentielle pour contrecarrer l'épuisement des ressources en insectes comestibles (Ghazoul, 2006; Cerritos, 2009). Il sera très utile de puiser dans les connaissances des populations locales. À la lumière des constats exposés ci-dessus, les prochaines étapes évidentes dans le secteur de la recherche sur les insectes comestibles seront d'accroître durablement leur production dans la nature ou par élevage, soit par expansion, soit par intensification et de mettre en œuvre, à cette fin, des méthodes de gestion forestière écologiquement saines (Johnson, 2010).

Les forestiers et l'industrie forestière considèrent depuis longtemps les chenilles comme des nuisibles car elles se nourrissent des feuilles fraîches des arbres et sont de ce fait perçues comme néfastes aux peuplements arborés. En réalité, cependant, les arbres répondent à une telle défoliation par la production d'un feuillage plus abondant. N'Gasse *et al.* (2004) ont observé que la défeuillaison des arbres par les chenilles n'avait qu'un impact limité sur les arbres. En fait, la récolte des chenilles en forêt pourrait être considérée comme une méthode de lutte biologique, tant que les arbres ne sont pas abattus lors de la récolte des chenilles (Vantomme, Göhler et N'Deckere-Ziangba, 2004).

En retour, la protection des chenilles pourrait grandement bénéficier de la conservation et de la gestion des arbres hôtes (Holden, 1991; Munthali et Mughogho, 1992; Chidumayo et Mbata, 2002; Toms et Thagwana, 2005).

**Une liste rouge des insectes en danger en Afrique de l'Ouest.** L'Institut international d'agriculture tropicale a établi une liste rouge de 34 espèces d'insectes en danger au Bénin. Les menaces principales contre les insectes comprennent la dégradation ou, dans certaines zones, la disparition de leurs habitats, dues à la pollution, à l'extension agricole excessive, aux mauvaises pratiques agricoles, aux brûlages incontrôlés, à l'exploitation forestière incontrôlée, au non-respect des aires protégées, et, à long terme, au changement

ENCADRÉ 4.4

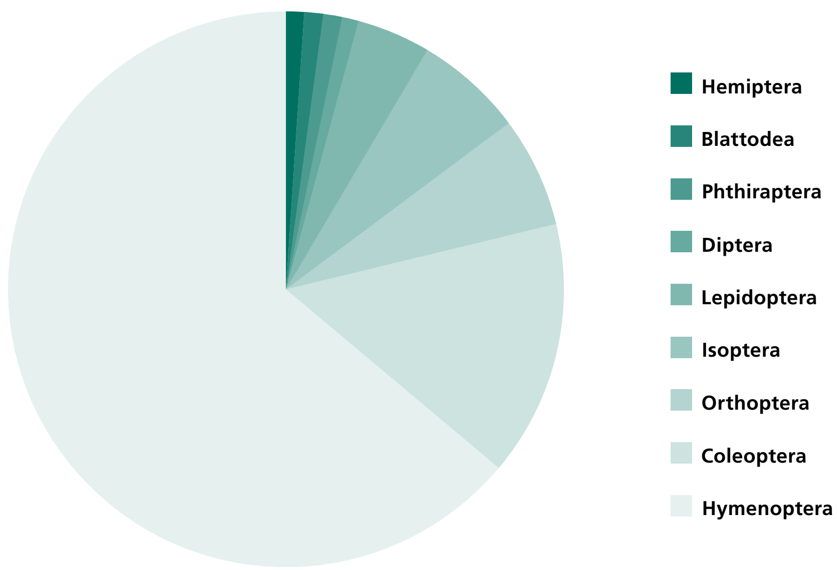
**Les insectes et la biodiversité au Brésil**

Le Brésil est mondialement reconnu comme un haut lieu de la biodiversité (Myers *et al.*, 2000). Le pays héberge également une riche diversité culturelle, avec le nombre remarquable de 222 groupes ethniques indigènes, ainsi que plusieurs autres groupes dont les artisans pêcheurs, les Caboclos d'Amazonie (ou peuple des rivières) et les Afro-brésiliens, connus aussi sous le nom de Quilombolas. Cette diversité combinée est appelée biosociodiversité (Costa Neto, 2012).

La littérature recense au total 135 espèces d'insectes comestibles appartenant à neuf ordres (Figure 4.1) et 23 familles dans 14 des 26 États du Brésil. Parmi ces espèces, 95 ont été identifiées jusqu'au niveau de l'espèce et 18 jusqu'au niveau du genre, les autres n'étant connues que par leur seul nom vernaculaire. Les espèces les plus consommées appartiennent aux ordres des hyménoptères (63 pour cent), coléoptères (16 pour cent) et des orthoptères (7 pour cent) (Costa Neto, 2012). Étant donné la vaste biosociodiversité brésilienne, «on peut dire que l'entomophagie humaine est sous-estimée, car des insectes comestibles et nourrissants sont disponibles en abondance» (Costa Neto, 2012).

FIGURE 4.1

**Distribution par ordre des insectes, au Brésil**




*Source:* Costa Neto, 2012.

climatique et à la disparition des pollinisateurs. Du fait que les insectes menacés vivent, pour la plupart, dans les écosystèmes forestiers, la déforestation est un problème majeur (Neuenschwander, Sinsin et Goergen, 2011). La liste comprend une espèce qui est certainement mangée en Afrique centrale: le scarabée goliath africain (*Goliathus goliathus*) (Bergier, 1941). Au Bénin, cette espèce est menacée de disparition par la raréfaction de son arbre hôte préféré, le peu fréquent *Holoptelea grandis* (Ulmaceae). Comme le scarabée goliath africain peut être maintenant facilement élevé, la chasse à cet insecte a diminué et n'est plus considérée comme une menace pour ces arbres (Neuenschwander, Sinsin et Goergen, 2011).

**Biodiversité des micro-organismes et des invertébrés pour l'alimentation et l'agriculture.** La Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture de la FAO (CGRFA) et le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture ont reconnu le rôle fondamental que les micro-organismes et les invertébrés jouent dans la sécurité alimentaire et dans la durabilité de l'agriculture grâce aux services qu'ils fournissent aux écosystèmes produisant des aliments et à l'environnement naturel. Parmi les groupes fonctionnels distingués par la CGRFA on trouve: les pollinisateurs, les agents de lutte biologique; les organismes transformateurs et régulateurs du sol; les fournisseurs d'aliments et de produits forestiers non ligneux (p. ex. la soie, le miel, les insectes comestibles); et les invertébrés aquatiques et leurs contributions à la pêche et à l'aquaculture (qui peut être élargie pour inclure l'utilisation d'invertébrés pour nourrir le bétail conventionnel) (FAO, 2009a). La FAO a une longue tradition de travail technique sur l'importance des micro-organismes et des invertébrés dans l'alimentation et l'agriculture. Parmi ces travaux on trouve les programmes et les stratégies de l'Organisation sur la lutte intégrée contre les ravageurs (IPM). Grâce à la CGRFA, l'accent mis sur cette «biodiversité cachée» s'est accru.

La FAO coordonne également deux initiatives mondiales de la Convention sur la diversité biologique, qui ont été établies après reconnaissance des services essentiels fournis par les micro-organismes et les invertébrés dans tous les systèmes de production: l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable des pollinisateurs, et l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique des sols. Voir dans l'encadré 4.4 un exemple national de diversité biologique des insectes. De nombreuses organisations partenaires collaborent avec la FAO sur ces importantes initiatives.

## 4.4 PRODUCTION NATURELLE AMÉLIORÉE DES INSECTES COMESTIBLES

Une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie d'une espèce donnée d'insecte peut apporter plus que la compréhension de sa saisonnalité, par exemple, ou que le développement d'outils efficaces pour sa capture. Elle peut aussi permettre de modifier l'habitat d'un insecte comestible, à petite ou à grande échelle, modifiant le comportement de l'insecte et sa disponibilité tout au long de l'année (Van Itterbeck et van Huis, 2012). Ceci est appelé «production naturelle améliorée» car il s'agit de favoriser la production en quantité ou en qualité d'insectes dans leur habitat naturel en le modifiant plus ou moins grâce à des travaux appliqués avec compétence. La production naturelle assistée implique rarement le gardiennage des insectes (contrairement à l'élevage qui est l'objet du chapitre 7). Les insectes issus de la production naturelle améliorée sont récoltés dans la nature et ne sont pas élevés en captivité (bien que certains puissent être captifs durant une partie de leur cycle biologique, comme, par exemple, le charançon du palmier dont les larves sont élevées en containers plastiques en République bolivarienne du Venezuela; Cerda *et al.*, 2001). Les insectes issus de la production naturelle améliorée ne sont pas isolés de leurs congénères sauvages. Les larves de charançon du palmier dans le bassin amazonien, en Indonésie, en Malaisie, en Papouasie-Nouvelle-Guinée et en Afrique tropicale, les chenilles en Afrique subsaharienne, les chenilles du bambou en Thaïlande, les œufs des hémiptères aquatiques au Mexique et les termites en Afrique subsaharienne sont tous

des exemples d'insectes issus de la production naturelle améliorée dont les habitats ont été plus ou moins modifiés. Des preuves archéologiques de modification des paysages pour la production alimentaire ont été trouvées, suggérant des éléments essentiels dans le développement de la production alimentaire sédentaire et la domestication (Barker, 2009). Les modifications du milieu à des fins de production alimentaire sont donc les premières étapes en direction d'une production de plus en plus contrôlée. La production naturelle améliorée a de nombreux bénéfices dont la disponibilité et la prédictibilité des insectes comestibles ne sont pas les moindres. Les activités relatives à la production naturelle améliorée contribuent potentiellement à la fois à la conservation des habitats des insectes comestibles et à la sécurité alimentaire. Sous les tropiques, l'accent devrait être mis sur la maximisation de la productivité des méthodes actuellement utilisées de production naturelle améliorée. De telles activités pourraient être développées pour d'autres espèces d'insectes comestibles, à condition que leur biologie et leur écologie soient suffisamment connues.

### 4.4.1 Les larves du charançon du palmier

Parmi les exemples classiques de production naturelle améliorée on peut noter les larves de charançon du palmier, *Rhynchophorus palmarum* (Amérique centrale et Amérique du Sud), *R. phoenicis* (Afrique) et *R. ferrugineus* (Asie du Sud-Est) (voir également la section 2.3.2). L'information disponible la plus détaillée concerne *R. palmarum*. Les palmiers peuvent être considérés comme variable contrôlée car ils sont abattus délibérément en des lieux et des moments choisis. La méthode est relativement simple: les récolteurs reviennent vers les arbres de un à trois mois après l'abattage pour récolter les larves (Choo, Zent et Simpson, 2009). Certains peuples amérindiens utilisent cette méthode comme une stratégie durant leurs longs déplacements de chasse et de pêche qui les éloignent de leurs villages pendant de longues périodes (Dufour, 1987).

Les Amérindiens de la République bolivarienne du Venezuela sont connus pour l'utilisation qu'ils font de leurs connaissances traditionnelles des charançons du palmier pour contrôler les quantités relatives de larves de deux espèces de charançon du palmier, le charançon sud-américain du palmier *R. palmarum* et le charançon barbu *Rhinostomus barbirostris*, dont les femelles pondent leurs œufs sur les mêmes stipes. Ces deux espèces de charançon diffèrent par leur comportement de ponte: les adultes de *Rhynchophorus palmarum* se nourrissent, s'accouplent et pondent sur les tissus internes exposés des palmiers tombés naturellement au sol ou abattus, alors que *R. barbirostris* pond sur la surface intacte des stipes et peut utiliser la longueur totale du faux tronc pour pondre ses œufs. Les adultes de *R. palmarum* arrivent sur le stipe avant *R. barbirostris*. Ainsi, pour favoriser le premier, les tissus internes plus tendres sont exposés par la réalisation de profondes coupures dans le stipe, ce qui conduit à rendre les larves de *R. palmarum* plus abondantes que celles de *R. barbirostris*.

Une technique analogue est utilisée avec le sagoutier (*Metroxylon sagu*), un palmier de Papouasie-Nouvelle-Guinée (Mercer, 1994). Le comportement d'accouplement du charançon du sagoutier (*R. ferrugineus papuanus*) est grégaire, ce qui conduit facilement à la présence de 100 larves (vers de sagou) ou plus dans un seul stipe. Comme les charançons adultes ne pondent que sur les parties non travaillées des arbres abattus pour récolter la fécule (sagou), l'abattage délibéré des sagoutiers pour la récolte des larves augmente les quantités récoltées. En Papouasie-Nouvelle-Guinée, les sagoutiers produisant peu de fécule sont souvent réservés à la production naturelle améliorée de larves de charançon du palmier (Townsend, 1973).

Cerda *et al.* (2001) ont étudié les méthodes artisanales simples utilisées par les Amérindiens de la République bolivarienne du Venezuela pour élever le charançon sud-américain du palmier *R. palmarum* sur d'autres plantes cultivées. Le charançon est incité à se développer sur le palmier-bâche (*Mauritia flexuosa*), car les larves qui se nourrissent sur ce palmier ont une teneur en protéines de 40 pour cent de la matière

sèche, teneur bien plus élevée que celle des insectes élevés sur d'autres espèces de palmiers. Les tribus amérindiennes récoltent les larves sur les palmiers après quatre semaines et poursuivent leur élevage pendant plusieurs semaines dans des boîtes en plastique, près de leur domicile. Elles nourrissent les larves avec des pseudo-troncs de bananiers, des déchets de légumes et des fruits (Cerda *et al.*, 2001). Un régime alimentaire à base de canne à sucre et d'ananas a également été étudié (Giblin-Davis *et al.*, 1989). Le problème potentiel que représente la surexploitation a été envisagé car les palmiers sont abattus pour déclencher la ponte des adultes et la croissance des larves ainsi produites. Bien que Cerda *et al.* (2001) aient démontré que 31 espèces de plantes, appartenant à 12 familles, pouvaient héberger et nourrir les charançons du palmier, une gestion précautionneuse des palmiers reste essentielle pour assurer la pérennité de la méthode.

Les populations locales gèrent et protègent certaines espèces végétales dont les palmiers (Politis, 1996), et modifient le paysage, par exemple, en essartant, en plantant et en entretenant des arbres (Barker, 2009). Dans de nombreuses parties du monde, les palmiers sont abattus délibérément pour stimuler la production de larves de charançon, ce qui signifie que ces larves constituent une source primordiale de nourriture. Lorsque les palmiers sont abattus pour obtenir de la fécule, récolter des fruits, et/ou pour prélever la sève pour en faire du vin de palme, les larves se nourrissent des parties non perturbées du stipe et sont considérées comme des sous-produits (Dufour, 1987) et des productions secondaires (Bodenheimer, 1951). Bien qu'une production double puisse être parfaitement voulue, on doit être très prudent en qualifiant les larves de charançon du palmier, de véritables sous-produits (Van Itterbeck et van Huis, 2013).

### 4.4.2 Les chenilles

L'encadré 4.5 présente deux exemples de gestion des habitats qui peuvent permettre d'accroître l'abondance des chenilles: l'agriculture itinérante «chitemene» et la gestion des feux. En tant que telles, ces activités peuvent être considérées comme des méthodes de production naturelle améliorée. De la même façon, la plantation d'arbres hôtes et la limitation de leur abattage augmente les sites de ponte pour les papillons et de production des chenilles (Takeda, 1990; Latham, 1999). En 2003, Latham a établi une liste détaillée des espèces de chenilles comestibles et de leurs plantes hôtes, et il a aussi montré comment les règles traditionnelles concernant la récolte des chenilles étaient maintenues ou réétablies. Mbata et Chidumayo (2003) ont décrit en détail les systèmes qui, dans la région de Kopa en Zambie, impliquent tous les échelons de la société locale: les sites de pontes denses des papillons sont détectés et les apparitions du premier stade larvaire et du dernier stade larvaire (le seul stade que les populations locales soient autorisées à récolter) sont surveillées. Sur la base de ces observations, le calendrier des récoltes est établi, et, lorsque cela est nécessaire, des interdictions temporaires de récolte des chenilles sont imposées. Des rituels sont accomplis et des cérémonies ont lieu, fixant fortement ces règles concernant les chenilles dans la culture locale. Dans la province du Bas-Congo en République démocratique du Congo, les populations locales réintroduisent des chenilles telles que *Cirina forda*, *Imbrasia epimethea* et *I. eblis* (syn. *I. macrothyris*) sur des acacias près de leurs habitations et laissent les chenilles se développer jusqu'à ce qu'elles soient bonnes à consommer. Certaines chenilles sont conservées pour la nymphose. Elles se transformeront en papillons adultes qui pondront leurs œufs dans la même zone. De cette façon, l'approvisionnement en chenilles est assuré pour la saison suivante (Latham, 2003).

Étant donné les problèmes auxquels font face les populations sauvages – comme l'irrégularité et l'imprédictibilité des pullulations (Hope *et al.*, 2009) – la domestication des chenilles et des plantes hôtes dans des systèmes agroforestiers est à l'étude. Par exemple, les larves peuvent être protégées de la sécheresse, de la chaleur et des prédateurs – facteurs qui contribuent à leur mortalité dans la nature – en utilisant des techniques simples comme des manchons protecteurs de tissu couvrant les branches et des ombrières. La durabilité de telles actions n'est cependant pas assurée. L'élevage en captivité est vulnérable aux

ENCADRÉ 4.5

**Effet du brûlage dirigé et de l'agriculture itinérante sur les populations de chenilles**

**Le brûlage dirigé**

Le feu est souvent utilisé comme outil de gestion en sylviculture. Dans le Parc national de Kasungu au Malawi où cette pratique est commune, on rapporte que les politiques en matière d'incendies affectent la production de chenilles (Munthali et Mughogho, 1992). Le brûlage tardif (de septembre à octobre) est particulièrement dangereux pour les populations de chenilles car il coïncide avec la période de ponte des papillons adultes. Au contraire, le brûlage précoce (de juin à juillet) augmente la production de chenilles, probablement parce qu'il diminue l'abondance des prédateurs des papillons, des œufs et des chenilles, et provoque la croissance de jeunes feuilles dont se nourrissent les chenilles. On croyait initialement que les plus fortes productions de chenilles étaient trouvées sur des arbres hauts de 1 à 3 m – ce qui coïncide avec l'accessibilité optimale pour les récolteurs. Si ce fait était avéré, une rotation des mises à feu permettant la croissance de tiges entre 0 et 4 m ouvrirait la voie à des règles d'aménagement durable des formations boisées qui bénéficierait à la fois à la vie des populations et à leurs moyens de subsistance (Munthali et Mughogho, 1992). Cependant, une étude plus récente a montré que la majorité des chenilles du mopane (70 pour cent) se trouvaient en fait à des hauteurs supérieures à 3 m dans les arbres hôtes (Roberts, 1998). Cette différence peut s'expliquer par des différences de conditions dans ces habitats. Ainsi, les règles de gestion des brûlages dirigés devraient être déterminées au niveau local, et surtout elles devraient prendre en compte les ressources forestières importantes – y compris les chenilles du mopane – dont dépendent les populations pour leur sécurité alimentaire et leurs moyens de subsistance.

**L'agriculture itinérante «chitemene»**

L'agriculture itinérante «chitemene» (p. ex. l'abattage du couvert forestier) dans les jachères stimule la repousse des arbres hôtes des chenilles et ainsi augmente l'abondance potentielle des chenilles (Chidumayo et Mbata, 2002). Dans une certaine mesure, une coupe d'écrémage peut favoriser les chenilles et ne semble pas affecter négativement les formations boisées. Les forêts classées pourraient être le lieu idéal pour la mise en œuvre de ce type de gestion des habitats, fournissant aussi un forum pour la formation des communautés locales sur l'importance de la conservation des habitats. Le rôle des forêts classées pourrait être redéfini pour inclure des zones destinées à la production de chenilles, et qui serviraient aussi à contrebalancer l'exploitation pour le bois des arbres hôtes des chenilles (N'Gasse, 2004). Toutefois, les effets à long terme de ces stratégies de gestion, ainsi que les effets sur les proportions entre grands arbres et arbres plus petits nécessitent des recherches plus approfondies (Chidumayo et Mbata, 2002).

maladies virales et bactériennes ainsi qu'aux attaques de parasitoïdes. Les populations sauvages de chenilles mopane sont également vulnérables à ces maladies et à ces attaques. Des travaux de recherche récents suggèrent que l'élevage des chenilles mopane devrait être maintenu à petite échelle pour réduire l'impact des maladies virales. Il est donc préférable pour un village d'avoir de nombreuses petites fermes d'élevage plutôt qu'une seule grande ferme d'élevage, de façon à ce que les petites fermes en échec puissent être réapprovisionnées en œufs sains ou en larves à condition que l'information et les ressources soient facilement échangées entre les fermes. Néanmoins, de telles dispositions ne peuvent pas être mises en place du jour au lendemain car elles supposent un degré de confiance bien établi entre les éleveurs. Le contrôle et la lutte contre les maladies dans les élevages de chenilles mopane méritent une attention rigoureuse si la production naturelle

améliorée devient une option sérieuse. Le développement de l'élevage en captivité n'exclut pas la poursuite du développement et la réussite de la gestion des populations sauvages de chenilles. Au contraire, des recherches approfondies sur la réduction de la mortalité et sur les maladies des chenilles mopane bénéficieront également aux populations sauvages et contribueront au développement du secteur de l'élevage des chenilles (Ghazoul, 2006).

Compte tenu de l'importance économique et nutritionnelle des chenilles mopane en Afrique, des connaissances plus approfondies sur l'écologie et la biologie des populations sauvages sont nécessaires. C'est aussi vrai pour de nombreuses autres chenilles comestibles (Munyuli Bin Mushambanyi, 2000). Ceci est incontestablement le résultat de l'intérêt minimal pour ces questions dû au préjugé, dans la science occidentale, contre les insectes en tant que source valable de nourriture et de revenus (Kenis *et al.*, 2006). Le comblement des lacunes existantes dans les travaux de recherche fournira les connaissances nécessaires à la gestion durable des populations sauvages de chenilles mopane. Une plus grande précision dans la détermination des périodes de pullulation, par exemple, et une meilleure compréhension des effets des maladies et des parasitoïdes sur les populations de chenilles mopane, favoriseront cet élevage et, ainsi, les communautés locales (Ghazoul, 2006).

En Thaïlande, la Division des recherches sur les produits forestiers du Département royal des forêts a conduit des recherches sur la chenille du bambou, *Omphisa fuscidentalis*, aussi connue sous le nom de ver du bambou. Les chenilles sont localisées dans les internœuds où elles se nourrissent des tissus internes tendres. Bien que le bambou doive être entaillé et ouvert pour récolter les chenilles, ceci ne tue pas les chaumes. Les bambous qui hébergent des chenilles sont identifiés par le trou que font les jeunes larves quand elles pénètrent dans le chaume, ainsi que par la taille de l'internœud, quoique les récolteurs amateurs, à la recherche des chenilles, abattent parfois les bambous sans nécessité. Néanmoins, les bambous abattus peuvent être utilisés comme bois de feu ou comme matériau pour le jardin et l'artisanat. Les résultats de ces travaux de recherche comprenant des données sur la biologie et l'écologie du ver du bambou ont été publiés dans un manuel en 2000 par le Département royal des forêts. Entre autres choses, ce manuel fait la promotion auprès des populations locales de la plantation de bambous pour compenser les dégâts provoqués par la récolte des chenilles. Des méthodes de production naturelle améliorée des chenilles du bambou sont proposées: par exemple, à domicile, des chenilles matures sont introduites dans des pousses de bambou placées dans l'eau et recouvertes d'un manchon de résille. Les adultes qui sont issus de ces chenilles s'accouplent alors et les papillons femelles pondent leurs œufs sur le bambou. Les recherches en cours visent à raccourcir le temps de diapause afin de permettre une production continue tout au long de l'année (Singtripop, Wanichacheewa et Sakurai, 2000).

### 4.4.3 Les œufs des hémiptères aquatiques

Les Aztèques considéraient les œufs des punaises aquatiques comme des mets délicats et les appelaient ahuauhtle; les conquistadors espagnols les appelaient caviar mexicain (bien que ce terme soit aussi utilisé pour les larves de fourmis) (Bachstez et Aragon, 1945). L'ahuauhtle (dont les adultes sont appelés axayacatl) mesure de 0,5 à 1 mm environ. Les œufs les plus populaires proviennent des espèces *Corisella*, *Corixa* et *Notonecta* (Bergier, 1941; Bachstez et Aragon, 1945; Parsons, 2010).

La promotion de la production d'ahuauhtle est relativement simple. Les punaises femelles pondent leurs œufs sur la végétation aquatique dans les lacs (Bergier, 1941; Bachstez et Aragon, 1945; Parsons, 2010). La production naturelle des œufs est donc améliorée en fournissant des sites de ponte aux punaises femelles. Des fagots de branchages, d'herbes ou de roseaux (p. ex. des laîches – *Carex*; Guerin-Meneville, 1857) sont liés à une corde et espacés tout au long du fond des lacs (des eaux dormantes et peu profondes conviennent le mieux) avec des pierres pour les maintenir en place (Guerin-Meneville, 1857; Ramos Elorduy, 1993; Parsons, 2010). Plus récemment, des fagots longs en forme de U, d'herbes et de roseaux, placés à 1 m d'intervalle, ont été utilisés. Sur ces fagots,

les femelles d'hémiptères pondent leurs œufs qui peuvent être facilement récoltés en prélevant les fagots et en les secouant. Cependant les récoltes ont diminué ces dernières décennies dans de nombreux lacs en raison de la pollution (Ramos Elorduy et Pino, 1989).

### 4.4.4 Les termites

Farina, Demey et Hardouin (1991) ont décrit une méthode simple de production naturelle améliorée des termites comprenant la reproduction des conditions régnant à l'intérieur d'une termitière en leur fournissant un mélange de cellulose humidifiée (p. ex. papiers, carton, et matières végétales desséchées) et de terre dans un endroit frais et sombre. Au Togo, on utilise exclusivement des matériaux locaux pour la production naturelle améliorée des termites – un vieux canari (un récipient en terre cuite), des tiges sèches de mil ou d'autres céréales, de l'eau, un morceau de vieux sac en toile de jute, une pierre et un peu de terre humide. Une structure simple en bois est construite pour fixer le canari sur le trou d'entrée d'une termitière; les termites peuvent être récoltées après trois à quatre semaines. Les termitières en cours de construction sont idéales, mais les vieilles termitières conviennent également (Farina, Demey et Hardouin, 1991).

## 4.5 GESTION DES ORGANISMES NUISIBLES

De nombreux insectes comestibles sont considérés nuisibles et constituent des menaces pour les cultures agricoles (Encadré 4.6), et les méthodes de lutte par application de produits chimiques tels que les pesticides et les insecticides sont très courantes dans de nombreuses parties du monde. La récolte manuelle de ces nuisibles ne nourrirait pas seulement les populations et n'épargnerait pas seulement les récoltes, elle bénéficierait aussi à l'environnement en réduisant l'utilisation des pesticides.

Cerritos et Cano-Santana (2008) ont étudié l'efficacité de la récolte manuelle des sauterelles appelées chapulines (*Sphenarium purpurascens*) dans des champs de luzerne, pour protéger la plante cultivée et l'insecte sans traitement chimique (voir aussi la section 2.2 sur les sauterelles). Avec des rendements comparables (quoique légèrement plus faibles) de la plante cultivée, la lutte mécanique a l'avantage de provoquer des dégâts environnementaux considérablement moindres et de générer une source additionnelle de nourriture et de revenus par la consommation et la vente de sauterelles. L'utilisation

TABLEAU 4.1
**Espèces comestibles considérées comme nuisibles importantes au niveau mondial ou local dans les agroécosystèmes, et contre lesquelles on pourrait lutter grâce à des stratégies alternatives de gestion et leur utilisation à grande échelle pour la consommation humaine**

| Ordre | Espèce et nom commun | Distribution |
|---|---|---|
| Orthoptères | *Locusta migratoria*, Criquet migrateur | Intercontinental |
| | *Locusta pardalina*, Criquet migrateur d'Afrique australe | Afrique |
| | *Schistocerca gregaria,* Criquet pèlerin | Intercontinental |
| | *Zonocerus variegatus*, Criquet puant | Afrique |
| | *Sphenarium purpurascens*, Chapuline | Mexique |
| Coléoptères | *Rhyncophorus phoenicis*, Charançon africain du palmier | Afrique |
| | *Rhyncophorus ferrugineus*, Charançon rouge asiatique du palmier | Asie |
| | *Rhyncophorus pamarum*, Charançon américain du palmier | Amérique |
| | *Augosoma centaurus*, Augosome | Afrique |
| | *Apriona germari*, Capricorne du mûrier | Asie |
| | *Oryctes rhinoceros*, Scarabée rhinocéros du cocotier | Intercontinental |
| Lépidoptères | *Agrius convolvuli*, Sphinx du liseron, ou sphinx à cornes de bœuf | Zimbabwe, Afrique du Sud |
| | *Anaphe panda*, Chenille processionnaire du Kudu Berry | Afrique |
| | *Gynanisa maja*, Empereur moucheté | Afrique |

*Source:* Cerritos, 2009.

ENCADRÉ 4.6

**Le cas du hanneton: nuisible agricole ou friandise? Polémiques sur sa préservation**

Bien que cela soit difficile à croire, le hanneton, et en particulier le hanneton européen commun (*Melolontha melolontha*), figurait parmi les aliments en Europe jusqu'au XVIIIe siècle. Erasmus Darwin (1731-1802), philosophe, naturaliste, physiologiste, inventeur, poète et grand-père de Charles Darwin, a écrit en 1800 dans *Phytologia*, à propos de l'utilisation du hanneton comme aliment:

> J'ai observé que le moineau domestique détruit le hanneton en mangeant la partie centrale, et on m'a dit que les dindes et les freux font de même; pour cette raison j'en conclus que ce pourrait être une nourriture gratifiante si elle était correctement cuisinée comme les criquets ou les termites dans l'Est. Et probablement que les gros coléoptères et leurs larves que les freux prélèvent en suivant la charrue, sont aussi délicieux que le ver appelé «Grugru», et qu'une grosse chenille qui se nourrit sur les palmiers, tous deux étant rôtis et consommés dans les Indes occidentales. [Le dernier fait probablement référence aux espèces du genre *Rynchophorus*, le charançon du palmier, consommé comme un mets délicat dans pratiquement tous les pays tropicaux.]

Des années plus tard (le 13 février 1878), le hanneton suscita des controverses. Dans le but de contrer une loi de destruction des nuisibles à l'agriculture (et surtout du hanneton), le sénateur français Tesselin publia dans le *Journal Officiel* une recette pour cuisiner le hanneton:

> Capturez des hannetons, pilez-les au mortier et passez-les au tamis. Pour faire une soupe claire, ajoutez de l'eau à la pâte obtenue. Pour faire une soupe grasse, ajoutez du bouillon. Cela donne un plat délicieux, estimé par les gourmets.

Remarquablement, le hanneton est devenu dans une poignée de pays européens l'ingrédient principal d'une soupe traditionnelle appelée «soupe de hanneton». En fait, jusqu'au milieu du XXe siècle, cette soupe – très comparable à la soupe de homard – était estimée délicieuse en France, en Allemagne et dans plusieurs autres pays européens. Malgré le statut de ce plat considéré comme un mets délicat, la controverse s'est poursuivie tout au long des années. De nos jours, des efforts sont mobilisés pour protéger l'espèce et son habitat. Le cas du hanneton peut être vu comme un exemple encourageant du développement des insectes comestibles en tant que sources de nourriture car il montre que les perceptions peuvent changer et changent avec le temps.

*Source:* Wikipedia, http://de.wikipedia.org/wiki/Maik%C3%A4fersuppe

des pesticides est mal vue dans de nombreux pays arabes; la récolte des criquets à la main réduit l'impact des insectes sur les cultures et fournit un supplément de nourriture. Saeed, Dagga et Sarraf (1993) ont démontré la présence de pesticides toxiques pour l'homme dans des criquets récoltés durant une pullulation, indiquant ainsi un risque sanitaire pour les humains consommant ces criquets. Cerritos (2009) a identifié 15 espèces d'insectes comestibles considérées comme des nuisibles d'importance locale ou globale pour les agroécosystèmes, qui pourraient être combattues par des stratégies alternatives de gestion, telles que la récolte mécanique, et utilisées largement pour la consommation humaine (Tableau 4.1).

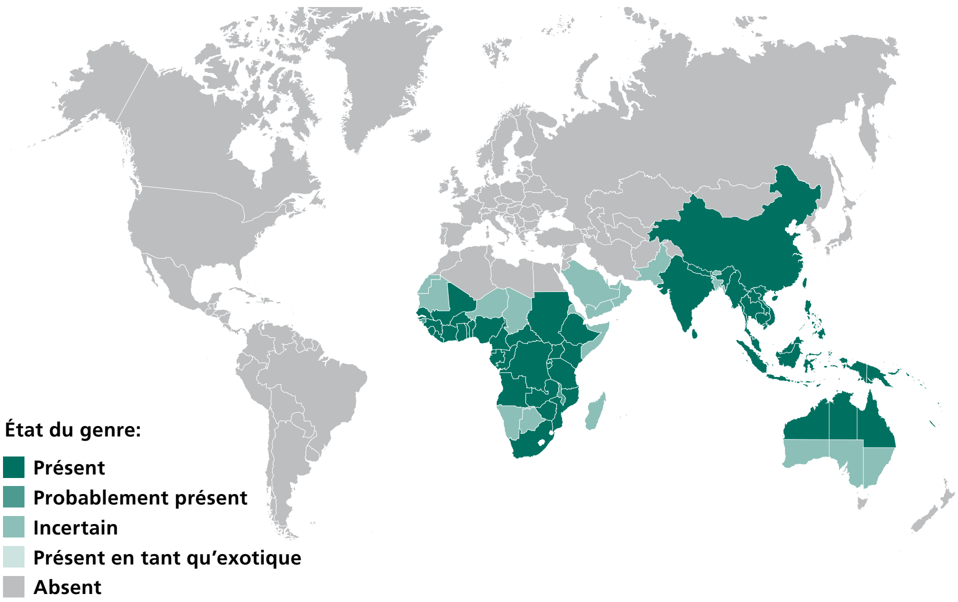
Une autre forme de lutte contre les nuisibles, écologiquement saine, implique l'utilisation de fourmis tisserandes du genre *Oecophylla*. Ce prédateur généraliste et agressif est un agent de lutte biologique très efficace pour protéger diverses espèces d'arbres économiquement importants (Peng, Christian et Gibb, 2004). Offenberg et Wiwatwitaya (2009b) ont montré qu'il existe un grand potentiel dans l'utilisation de la fourmi tisserande *Oecophylla smaragdina* aussi bien comme aliment – en raison de la réputation de leur couvain dans des pays comme la Thaïlande et la République démocratique populaire lao (Yhoung-Aree et Wiwatpanich, 2005; Sribandit *et al.*, 2008) – et comme agent de lutte biologique dans les plantations de manguiers.

### 4.5.1 Étude de cas: Les fourmis tisserandes *Oecophylla* spp.

La fourmi tisserande asiatique, *Oecophylla smaragdina*, est consommée en Chine, en Inde, en Indonésie, en République démocratique populaire lao, au Myanmar, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, aux Philippines et en Thaïlande (DeFoliart, 2002; Yhoung-Aree et Wiwatpanich, 2005; Sribandit *et al.*, 2008). L'espèce sœur africaine, *O. longinoda*, est consommée en République démocratique du Congo (DeFoliart, 2002), et au Cameroun une sauce est élaborée à partir des fourmis ouvrières (A. Dejean, communication personnelle, 2012). L'aire de répartition de la fourmi tisserande asiatique, *O. smaragdina*, s'étend de l'Inde à l'Australie, tandis que la fourmi tisserande africaine, *O. longinoda*, est endémique de l'Afrique tropicale. Les fourmis tisserandes sont ainsi dénommées car elles attachent (tissent) ensembles les feuilles des arbres avec de la soie sécrétée par leurs larves, pour former des nids. Une colonie comprend de nombreux nids, occupant souvent plusieurs arbres (Lokkers, 1990).

Typiquement, ce sont les larves et les nymphes («œufs de fourmi»), particulièrement les plus grosses destinées à devenir des reines vierges, qui sont consommées. Les adultes (ouvrières, reines vierges et mâles) sont moins appréciés mais sont utilisés comme condiments. Les fourmis ouvrières sont incorporées dans de la soupe de poisson en République démocratique populaire lao en raison de leur goût acide, de la même façon que le citron

FIGURE 4.2
**Distribution géographique des espèces du genre *Oecophylla***




*Source:* Guénard *et al.*, 2010.

dans de nombreux pays occidentaux (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Les fourmis tisserandes sont en outre utilisées en médecine traditionnelle en Chine et en Inde (Chen et Akre, 1994; Oudhia, 2002) et par les Aborigènes dans le nord de l'Australie (Yen, 2005). En Indonésie, les larves et les nymphes sont utilisées pour nourrir les oiseaux chanteurs et comme appât pour la pêche (Césard, 2004a). La fourmi tisserande asiatique a été utilisée dans des vergers de manguiers dans le Territoire du Nord en Australie, comme agent de lutte biologique contre la cicadelle du manguier, *Idioscopus nitidulus* (Peng et Christian, 2005) (Figure 4.2).

Les fourmis tisserandes sont fortement territoriales (Hölldobler, 1983) et capturent de nombreuses espèces d'insectes qui viennent se nourrir sur leurs arbres hôtes qui comprennent l'anacardier, le cacaoyer, le cocotier, le manguier, le théier et les eucalyptus (Peng *et al.*, 2004). Dès 304 EC, elles étaient utilisées en Chine pour protéger les citronniers contre les insectes nuisibles. Les rendements et la qualité des fruits protégés par de telles méthodes de lutte biologique se sont révélés supérieurs à ceux obtenus par l'application d'insecticides conventionnels (Van Mele, 2008). Les fourmis tisserandes sont un exemple parfait de réussite dans la lutte contre les insectes nuisibles.

***Moyens de subsistance***

En Thaïlande et en République démocratique populaire lao, la période de récolte, qui culmine de février à avril, est largement déterminée par la disponibilité des larves et des nymphes destinées à devenir des reines vierges (Sribandit *et al.*, 2008; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Les zones où on trouve les nids de fourmis sont considérées en accès libre (Césard, 2004b; J. Offenberg, communication personnelle, 2010; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). La récolte des larves et des nymphes, généralement réalisée par les femmes, fournit des revenus à de nombreuses populations rurales. Elle est également une source précieuse de nourriture: les larves et nymphes fraîches fournissent 7 g de protéines et 79,2 kilocalories d'énergie pour 100 g (Yhoung-Aree, Puwastien et Attig, 1997). Sribandit *et al.* (2008) ont estimé qu'un ménage moyen de Thaïlande consomme 49 kg de larves et de nymphes par campagne de récolte de fourmis, récolte constituant environ 30 pour cent du revenu annuel du ménage (en prenant moins de 20 pour cent du temps de travail). Ce travail de récolte constitue donc une partie importante de la stratégie de subsistance de nombreuses familles. Césard (2004b) a noté cependant qu'il existe des contraintes dans la commercialisation du produit en raison des techniques limitées de conservation et de la chute des prix liée à la baisse de qualité du produit.

***Méthodes de récolte***

Les larves et nymphes de reines (œufs de fourmi) sont un aliment populaire aussi bien en zones urbaines qu'en zones rurales en Thaïlande (Yhoung-Aree, 2010) et sont activement récoltées dans ces dernières (Sribandit *et al.*, 2008). La récolte est faite en pénétrant le nid avec une longue tige de bambou et un panier, un sac ou un filet attachés à une extrémité pour capturer les «œufs» contenus dans le nid (Césard, 2004b; Sribandit *et al.*, 2008; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Les «œufs» ne semblent pas surexploités, très probablement parce que la régénération des populations est rapide pour plusieurs raisons: les récolteurs limitent volontairement leur récolte et ne prennent pas toutes les larves et toutes les nymphes d'un nid; les nids des reines fondatrices ne sont habituellement pas récoltés (p. ex. en République démocratique populaire lao, de tels nids sont souvent très petits et de ce fait, ils sont délaissés car une faible récolte en «œufs» de fourmi en est attendue); les méthodes traditionnelles comprennent des rotations entre différentes parcelles de la forêt tout au long de la saison; et seulement une très petite fraction des fourmis ouvrières est prélevée (Césard, 2004b; Sribandit *et al.*, 2008; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Néanmoins, il faut faire attention car, comme pour la plupart des PFNL, lorsque les incitations économiques

augmentent (ce qui s'est déjà produit dans certaines régions), le nombre de récolteurs augmente aussi et à son tour la pression de récolte. Les récolteurs thaïs ont déjà noté une diminution de la disponibilité, bien qu'il ne soit pas certain que cela soit dû aux méthodes de récolte, à la pression des récoltes ou à la déforestation. De plus, la forte compétition entre récolteurs risque de mettre en danger la continuation des systèmes traditionnels de rotation des récoltes et pourrait conduire à l'adoption de méthodes et d'outils plus destructifs (Sribandit *et al.*, 2008). Plus positivement, il a été observé que lorsque d'autres activités de subsistance existent pour abonder le revenu (journalier), les récoltes d'œufs de fourmi avaient tendance à diminuer (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012).

Les fourmis tisserandes (*Oecophylla* spp.) peuvent être efficaces dans la lutte contre les insectes nuisibles, mais les ouvrières agressives sont en général considérées comme une nuisance, particulièrement lors de la récolte des produits agricoles comme les fruits. Des travaux récents de recherche en Thaïlande suggèrent que l'utilisation des fourmis tisserandes comme agent de lutte biologique peut être maintenue tout en récoltant les larves et les nymphes de reines qui ne sont pas indispensables à la survie de la colonie. On pense que le nombre de larves et de nymphes de la caste ouvrière produit par une colonie lors du pic de récolte des œufs de fourmi est petit (Offenberg et Wiwatwitaya, 2009a); souvent en Thaïlande, ils ne sont pas récoltés. Les nids récoltés développent même, avec le temps, de plus fortes densités de fourmis ouvrières et ainsi la capacité de lutte biologique est maintenue, sinon accrue. Un nouveau système agricole pourrait être mis en place dans lequel des rendements élevés en fruits de qualité sont obtenus et les insectes nuisibles – c'est-à-dire les larves et les nymphes de reines de fourmis tisserandes – sont convertis en une source de protéines accessible et facilement gérable (Offenberg et Wiwatwitaya, 2009a). Dans une étude en Thaïlande, Offenberg (2011) a identifié la fourmi tisserande asiatique comme insecte prometteur pour un élevage commercial.

# 5. Bénéfices environnementaux de l'élevage des insectes pour l'alimentation humaine et animale

Nourrir une population mondiale croissante et des consommateurs plus exigeants entraînera nécessairement un accroissement de la production alimentaire. Ceci va inévitablement faire peser une forte pression sur des ressources déjà limitées telles que les terres, les océans, les fertilisants, l'eau et l'énergie. Si la production agricole reste sous sa forme actuelle, les émissions de GES, ainsi que la déforestation et la dégradation de l'environnement vont continuer. Ces problèmes environnementaux, particulièrement ceux liés à l'élevage du bétail, requièrent une attention prioritaire.

Le bétail et les poissons sont des sources importantes de protéines dans la plupart des pays. Selon la FAO (2006), l'élevage du bétail mobilise 70 pour cent des terres à usage agricole. Avec une demande globale pour les produits de l'élevage qui devrait plus que doubler entre 2000 et 2050 (de 229 millions à 465 millions de tonnes), répondre à cette demande nécessite des solutions innovantes. De même, la production et la consommation de poissons se sont considérablement accrues durant les cinq dernières décennies. En conséquence, le secteur de l'aquaculture a explosé et atteint près de 50 pour cent de la production mondiale de poisson. La croissance durable du secteur dépendra fortement pour nourrir ces poissons, de l'approvisionnement en protéines végétales d'origine terrestre ou aquatique. L'opportunité est très grande d'utiliser les insectes pour contribuer à répondre à cette demande croissante en produits à base de viande et en remplacement des farines et des huiles de poisson.

Les équipements d'élevage à grande échelle du bétail et des poissons sont économiquement viables, au moins à court terme, en raison de leur forte productivité. Cependant, ces équipements entraînent des coûts environnementaux énormes (Tilman *et al.*, 2002; Fiala, 2008). Le fumier, par exemple, pollue les eaux de surface et souterraines avec des éléments nutritifs ou toxiques (métaux lourds) et pathogènes (Tilman *et al.*, 2002; Thorne, 2007). Le stockage et l'épandage du fumier contribuent à l'émission de grandes quantités d'ammoniaque qui a des effets acidifiants sur les écosystèmes. En outre, tout accroissement de la production animale demandera plus d'aliments et de terres de culture et provoquera une déforestation supplémentaire. L'Amazonie est un bon exemple: les pâturages occupent maintenant 70 pour cent de ce qui était autrefois une forêt, et les cultures fourragères occupent une grande partie des terres restantes (Steinfeld *et al.*, 2006).

En 2010, Sachs (2010) a soutenu que l'agriculture était la cause anthropique principale du changement climatique et que le monde avait besoin de nouvelles technologies agricoles et de nouveaux modèles de consommation reposant sur des régimes alimentaires plus sains et plus durables. Nourrir les populations futures nécessitera le développement de sources alternatives de protéines, telles que la viande cultivée, les algues, les haricots, les champignons et les insectes.

Consommer des insectes offre de nombreux avantages:

- Ils ont une capacité élevée de conversion des aliments (capacité d'un animal à convertir un poids donné d'aliments en masse corporelle, représentée en kg d'aliment par kg de gain de poids de l'animal).
- Ils peuvent être élevés sur des sous-produits organiques, réduisant ainsi la contamination de l'environnement tout en valorisant les déchets.
- Ils émettent relativement peu de GES et relativement peu d'ammoniaque.

- Ils demandent significativement moins d'eau que le bétail.
- Il y a peu de questions relatives au bien-être animal, bien que le point jusqu'auquel la douleur est ressentie par les insectes soit inconnu.
- Ils présentent un faible risque de transmission d'infections zoonotiques.

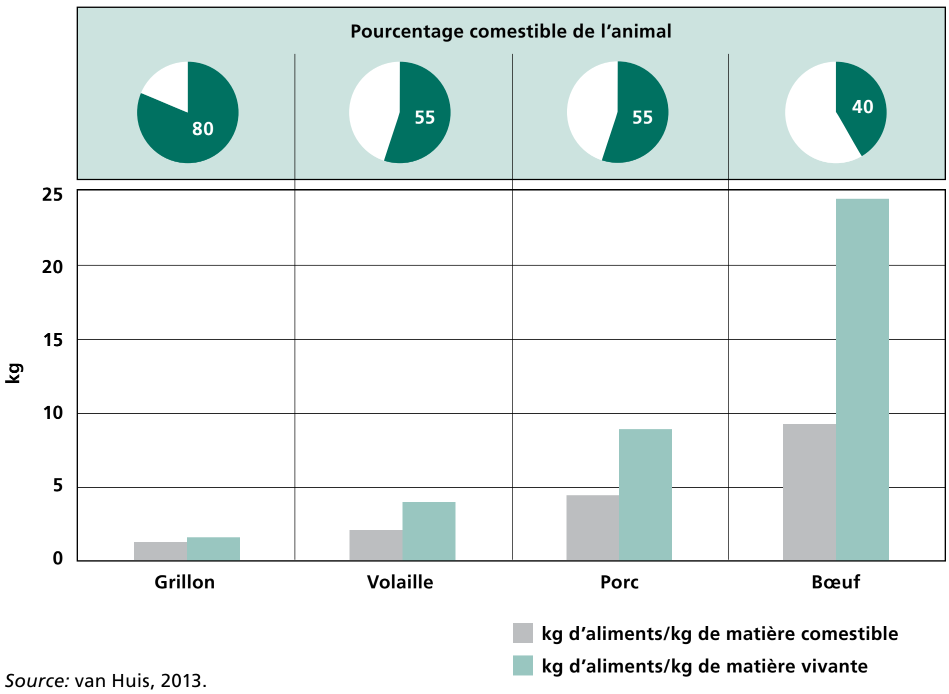
Malgré ces avantages, l'acceptation par les consommateurs reste une des barrières principales à l'encontre de l'adoption des insectes comme source de protéines dans de nombreux pays occidentaux. Néanmoins, l'histoire a montré que les habitudes alimentaires changent rapidement, particulièrement dans un monde globalisé (l'acceptation rapide du poisson cru sous la forme de sushi en est un bon exemple).

Cependant, le remplacement d'une partie de la viande conventionnelle par des insectes comestibles implique la fin de la récolte illimitée dans la nature, car cela imposerait une énorme pression sur les populations sauvages. La production d'insectes comestibles exigerait de passer à l'élevage, que ce soit à l'échelle artisanale ou dans de grandes unités industrielles.

## 5.1 CONVERSION ALIMENTAIRE

Comme la demande en viande augmente, les besoins en aliments pour animaux, céréales et protéines augmentent aussi. Ceci est dû au fait qu'il faut beaucoup plus de protéines végétales pour produire une quantité équivalente de protéines animales. Pimentel et Pimentel (2003) ont calculé que pour produire 1 kg de protéines animales de haute qualité, le bétail doit être nourri avec 6 kg de protéines végétales. Les taux de conversion des aliments (quantité d'aliments nécessaire pour obtenir un gain de poids de 1 kg) varient fortement en fonction de la classe de l'animal et des techniques de production utilisées. Typiquement, la production de 1 kg d'animal vivant dans un système de production caractéristique des États-Unis demande les quantités suivantes d'aliments pour animaux: 2,5 kg pour les poulets, 5 kg pour les porcs et 10 kg pour les bovins (Smil, 2002). Les insectes ont besoin de beaucoup moins d'aliments. Par exemple, la production de 1 kg de grillons vivants ne demande pas plus de 1,7 kg d'aliments (Collavo *et al.*, 2005). Lorsque

FIGURE 5.1
**Rendements des productions comparées de viandes conventionnelles et de grillons**



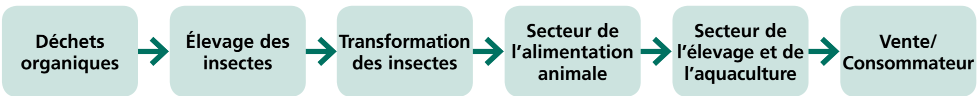

*Source:* van Huis, 2013.

ces chiffres sont calculés pour le poids comestible (en général, l'animal n'est pas comestible en totalité), l'avantage des insectes est encore plus grand (van Huis, 2013). Nakagaki et DeFoliart (1991) ont estimé que plus de 80 pour cent du grillon sont comestible et digeste, à comparer avec les 55 pour cent du poulet et du porc et les 40 pour cent du bétail. Ceci veut dire que les grillons sont deux fois plus efficaces dans la conversion des aliments que la volaille, au moins quatre fois plus que les porcs, et douze fois plus que les bovins (Figure 5.1). Ceci est vraisemblablement dû au fait que les insectes sont des animaux à sang froid et n'ont pas besoin d'aliments pour maintenir leur température.

## 5.2 SOUS-PRODUITS ORGANIQUES

Un avantage des insectes comme source alternative de protéines animales est le fait qu'ils puissent être élevés durablement sur des sous-produits organiques (p. ex. fumier, lisier de porc et compost). L'utilisation des sous-produits organiques par les insectes commence par leur élevage sur déchets biologiques. Les insectes sont préparés et donnés à manger à un animal d'élevage (Figure 5.2), dont la chair est ensuite vendue au consommateur (Veldkamp *et al.*, 2012) (voir chapitre 8).

FIGURE 5.2
**Utilisation des insectes dans la chaîne alimentaire pour animaux**




*Source:* adapté de Veldkamp *et al.*, 2012.

Certaines espèces d'insectes telles que la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), la mouche domestique (*Musca domestica*) et le ver de farine, ou ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*), sont très efficaces dans la bioconversion des déchets organiques. Pour cette raison, ces espèces font l'objet d'une attention croissante, car, ensemble, elles pourraient convertir 1,3 milliard de tonnes de déchets organiques par an (Veldkamp *et al.*, 2012). D'autres espèces d'insectes, telles que les grillons, sont élevées dans des fermes d'élevage et nourries avec des aliments pour animaux de grande qualité, tels que les aliments pour volaille. La substitution de tels aliments par des sous-produits organiques peut contribuer à rendre l'élevage des insectes plus rentable (Offenberg, 2011). Cependant, ceci n'est actuellement pas autorisé en raison de la législation sur l'alimentation humaine et animale (voir chapitre 14).

ENCADRÉ 5.1
**Le projet Ecodiptera**

En 2004, un projet cofinancé par le programme européen LIFE, intitulé Ecodiptera, a été lancé pour améliorer l'utilisation de l'énorme volume de lisier de porc produit en Europe. L'utilisation excessive d'engrais est fortement liée à une série de problèmes environnementaux dont la nitrification, l'enrichissement excessif des sols et des eaux en éléments nutritifs, et l'émission de GES. De plus, l'utilisation des fumiers peut conduire à la dispersion d'agents pathogènes dans l'environnement de même que la contamination entre animaux et humains. Dans ce projet, des larves de mouches sont utilisées pour transformer le fumier en engrais et en protéines. En Slovaquie, une unité pilote de dégradation biologique du lisier a été

*Suite page suivante*

*Encadré 5.1 (suite)*

mise en place avec des larves de mouche en adaptant une technologie qui existait déjà pour le traitement du fumier de volaille. Les méthodes adaptées au maintien de colonies de mouches et l'identification des conditions optimales ont été développées. Le projet a trouvé que lorsque les asticots atteignent le stade de pupe, ils peuvent être utilisés comme aliment protéinique en aquaculture.

Les objectifs du projet étaient:

- démontrer la viabilité technique et économique d'une nouvelle méthode de gestion du lisier de porc en utilisant des diptères (asticots);
- obtenir un équilibre entre les questions environnementales et sociales afin d'accroître l'acceptation du système par la communauté;
- encourager l'abandon progressif de la méthode actuelle d'épandage direct du lisier de porc comme engrais organique, ce qui n'est pas recommandé en raison de ses fortes teneurs en nitrates;
- démontrer que les sous-produits obtenus, tels que les déchets biodégradables restants, les pupes et les mouches, peuvent être utilisés dans d'autres procédés (p. ex. alimentation animale et pollinisation des plantes) dans le but d'obtenir un cycle sans déchets;
- introduire un nouveau modèle juridique local;
- démontrer que les asticots, autrefois considérés comme un problème environnemental et qui existent dans le fumier de porc en conditions naturelles, présentent un important potentiel de dégradation en utilisant des techniques respectueuses de l'environnement. Dans ce cas, le problème des mouches devient une solution durable au problème du traitement du lisier de porc.

*Source:* Commission européenne, 2008.

Le recyclage des déchets agricoles et forestiers en aliments pour animaux réduira fortement la pollution organique. Selon DeFoliart (1989), «Pratiquement toute substance d'origine organique, y compris la cellulose, peut nourrir une espèce ou plusieurs espèces d'insectes, ce n'est donc qu'une question de temps pour que des systèmes efficaces de recyclage soient mis au point.» La possibilité d'élever des insectes sur déchets organiques pour la consommation humaine est toujours l'objet d'études, en raison des risques inconnus de contaminants et de pathogènes (Encadré 5.1)[10].

## 5.3 PRODUCTION D'AMMONIAQUE ET ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

L'élevage du bétail est responsable de 18 pour cent des émissions de GES (en équivalent $CO_2$), une part plus grande que celle du secteur des transports (Steinfeld *et al.*, 2006). Le méthane ($CH_4$) et le protoxyde d'azote ($N_2O$) ont un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) plus grand que le $CO_2$: si le $CO_2$ a une valeur PRP de 1, le méthane a un PRP de 23 et le protoxyde d'azote un PRP de 289 (IPCC, 2007) (Tableau 5.1).

Parmi les espèces d'insectes, seuls les cafards, les termites et les scarabées produisent du méthane ($CH_4$) (Hackstein et Stumm, 1994), qui provient de la fermentation bactérienne due aux méthanobactériacées dans leur intestin postérieur (Egert *et al.*, 2003). Cependant, les insectes estimés valables pour la consommation humaine dans le monde occidental comprennent des espèces telles que le ver de farine, les grillons et les criquets qui peuvent être favorablement comparés aux porcs et aux bœufs pour leurs émissions de GES (elles sont 100 fois plus basses) (Oonincx *et al.*, 2010) (Figure 5.3). Les déchets de l'élevage (urine et fumier) contribuent également à la pollution de l'environnement (p. ex. l'ammoniaque)

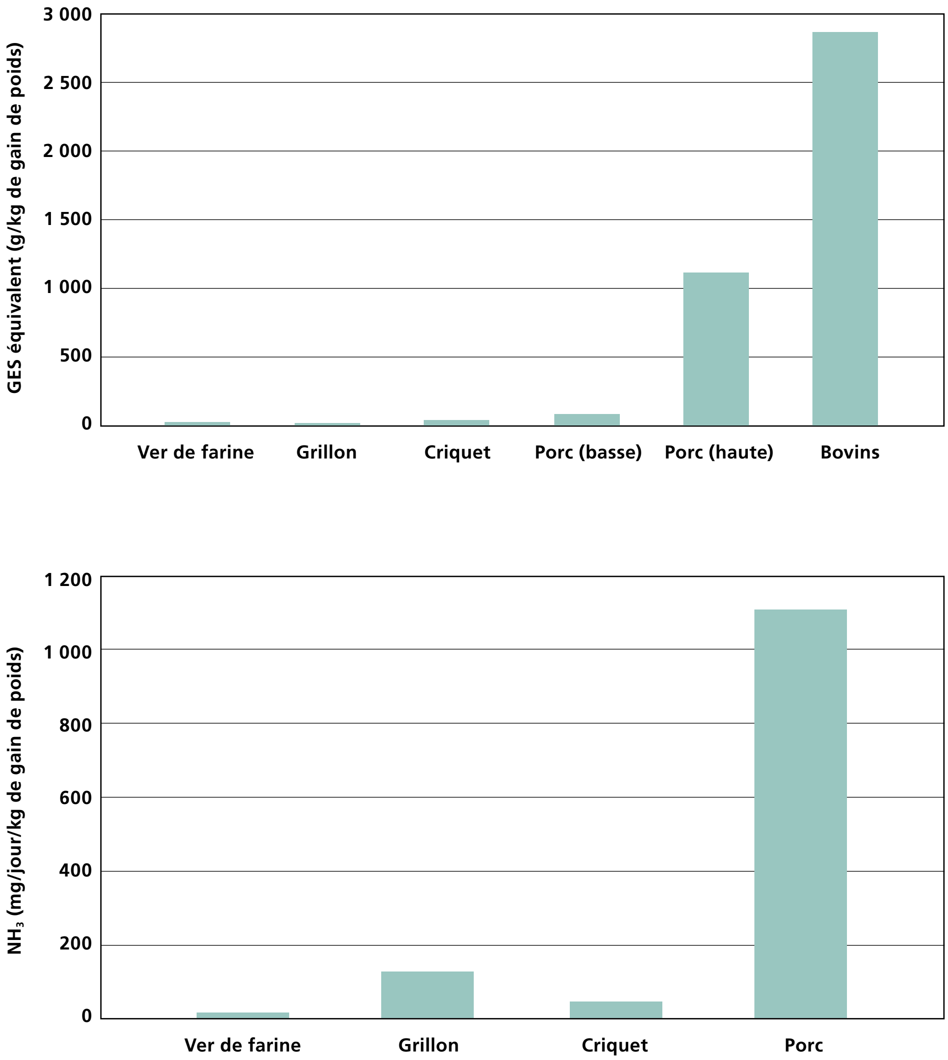
[10] Pour plus d'information sur ce sujet, voir le rapport de 2012: *Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets – A Feasibility Study*, produit par le Centre de recherches sur l'élevage de l'Université de Wageningen.

TABLEAU 5.1
**Contribution du secteur élevage aux émissions de GES**

| | Dioxyde de carbone ($CO_2$) | Méthane ($CH_4$) | Protoxyde d'azote ($N_2O$) |
|---|---|---|---|
| **Pourcentage par rapport aux émissions globales** | 9 | 35–40 | 65 |
| **Provoquées par** | La production d'engrais pour les cultures fourragères, les dépenses énergétiques agricoles, le transport fourrager, la transformation des produits animaux, le transport des animaux et les changements dans l'utilisation des terres | La fermentation entérique chez les ruminants et celle du fumier des animaux de la ferme | Le fumier et les urines des animaux de la ferme |

*Note:* Ce tableau montre combien et comment le secteur animal contribue à ces émissions. Selon Fiala (2008), la production de 1 kg de bœuf provoque l'émission de l'équivalent de 14,8 kg de $CO_2$, alors que cette émission est plus faible pour les porcs et les poulets, respectivement 3,8 kg et 1,1 kg.
*Source:* Steinfeld *et al.*, 2006.

FIGURE 5.3
**Production de GES et d'ammoniaque par kg de gain de masse pour trois espèces d'insectes, les porcs et les bovins**

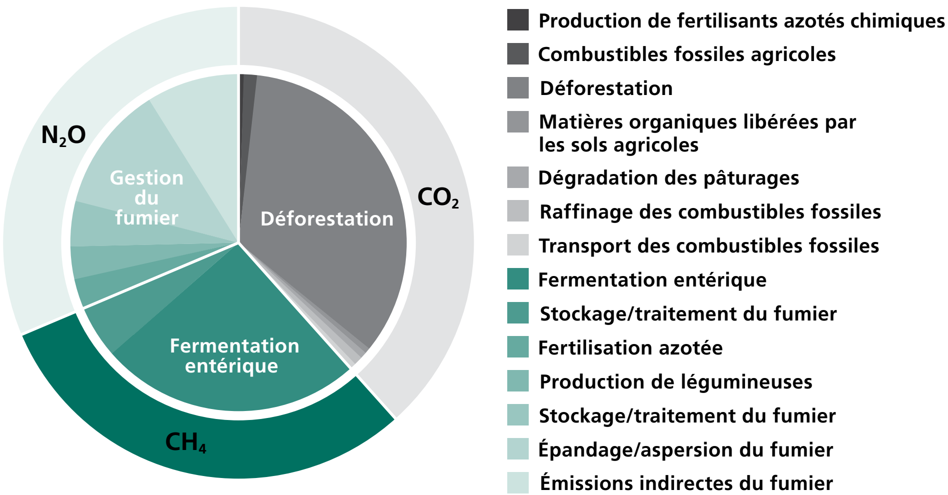



*Source:* Oonincx *et al.*, 2010.

et peuvent conduire à la nitrification et à l'acidification des sols (Aarnink *et al.*, 1995). Les larves de ténébrion meunier (ver de farine), les grillons et les criquets peuvent être également favorablement comparés aux porcs pour les émissions d'ammoniaque, comme le montre la figure 5.3 (environ 10 fois moins) (Oonincx *et al.*, 2010). Ces résultats sont issus d'expériences à petite échelle réalisées en laboratoire et devraient être considérés avec précaution lors des comparaisons avec la production à grande échelle de porcs et de bovins.

FIGURE 5.4

**Production respective de GES tout au long de la chaîne alimentaire des animaux d'élevage**




*Source:* Bonneau, 2008.

## 5.4 CONSOMMATION D'EAU

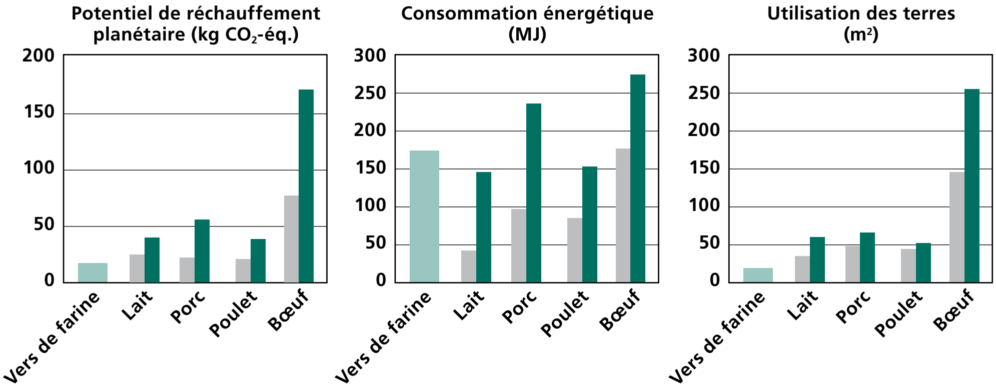
L'eau est un facteur clef de la productivité des terres. Un nombre croissant d'indices suggère que le manque d'eau limite déjà la production agricole dans de nombreuses régions du monde. On estime qu'en 2025, 1,8 milliard d'êtres humains vivront dans des pays ou des régions avec une pénurie absolue d'eau, et deux tiers de la population mondiale feront face à des difficultés d'approvisionnement (FAO, 2012b). Les demandes croissantes pesant sur l'offre mondiale d'eau menacent la diversité biologique, la production alimentaire et d'autres besoins humains vitaux. L'agriculture consomme environ 70 pour cent de l'eau douce mondiale (Pimentel *et al.*, 2004). Chapagain et Hoekstra (2003) ont estimé que la production de 1 kg de protéines animales demandait 5 à 20 fois plus d'eau que la production de 1 kg de protéines végétales. Ces chiffres atteignent 100 fois si l'eau requise pour la production de fourrage ou de protéines végétales est comprise dans l'équation (Pimentel et Pimentel, 2003). Chapagain et Hoekstra (2003) ont décrit ce concept sous le nom d'eau virtuelle. Selon ces auteurs, la production de 1 kg de poulet demande 2 300 litres d'eau virtuelle, 1 kg de porc demande 3 500 litres et 1 kg de bœuf demande 22 000 litres, les estimations pour ce dernier pouvant atteindre 43 000 litres (Pimentel *et al.*, 2004). Les estimations du volume d'eau requis pour produire un poids équivalent d'insectes comestibles ne sont pas disponibles mais pourraient être considérablement inférieures. Les vers de farine, par exemple, sont plus résistants à la sécheresse que le bétail (la capacité de croissance des vers de farine en présence de quantités suffisantes d'eau est décrite dans la section 6.1).

## 5.5 ANALYSE DU CYCLE BIOLOGIQUE

L'évaluation du cycle biologique est une technique d'évaluation des impacts environnementaux associés à tous les stades de la vie d'un produit, mais parmi les insectes comestibles, seul le ver de farine a été évalué de cette façon. Oonincx et de Boer (2012)

ont quantifié la production de GES (PRP), la consommation d'énergie et de terres tout au long de la chaîne de production du ver de farine et ont trouvé que la consommation d'énergie pour la production de 1 kg de protéines de ver de farine était inférieure à celle consommée pour le bœuf, comparable à celle pour le porc et légèrement supérieure à celle pour le poulet ou le lait. Les émissions de GES dues à la production de ver de farine étaient bien plus basses que celles dues à la production d'animaux plus communs (Figure 5.5). Pour 1 ha de terre requis pour la production de protéines de ver de farine, 2,5 ha seraient nécessaires pour produire une quantité similaire de protéines de lait, 2 à 3,5 ha pour une quantité similaire de protéines de porc ou de poulet, et 10 ha pour une quantité similaire de protéines de bœuf. Sur la base de cette étude, les vers de farine sont donc une source de protéines animales plus respectueuse de l'environnement que ne le sont le lait, le poulet, le porc et le bœuf.

FIGURE 5.5
**Production de gaz à effet de serre (potentiel de réchauffement planétaire), consommation énergétique et surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf**




*Note:* Les colonnes grises représentent les valeurs minimales et les colonnes vert-foncé les valeurs masimales trouvées dans la littérature.
*Source:* Oonincx et de Boer, 2012.

## 5.6 BIEN-ÊTRE ANIMAL

Concernant les animaux en élevage intensif, Brambell (1965) a décrit les normes que les industries de l'élevage devraient atteindre: affranchissement de la faim, de la soif, de l'inconfort, de la douleur, des blessures, des maladies, de la crainte, de la détresse et possibilité d'exprimer un comportement normal. Concernant la faim et la soif, cela veut dire fournir des aliments en quantité et en qualité suffisantes pour prévenir, entre autres, le cannibalisme. Les critères d'affranchissement de l'inconfort et d'expression d'un comportement naturel font référence à la concentration des animaux, et à la tolérance de certains niveaux de densité dans les élevages. Comme de nombreux mammifères en élevage intensif, les insectes sont élevés classiquement dans des petits espaces confinés. Pour assurer leur bien-être, un espace adéquat devrait être fourni aux insectes dans les élevages, espace qui dépend des interactions entre individus au sein d'une espèce en conditions naturelles. Par exemple, les criquets élevés en captivité sont toujours grégaires et se trouvent naturellement en fortes densités. Les vers de farine ont aussi tendance à se regrouper. Des conditions optimales sont recherchées dans les installations d'élevage pour minimiser la mortalité et accroître la productivité. Nous avons peu de connaissances sur le point jusqu'auquel la douleur et l'inconfort sont ressentis par les insectes (Erens *et al.*, 2012), bien que des travaux de recherche sur ce sujet aient été entrepris sur la mouche du vinaigre, *Drosophila melanogaster*, comme organisme modèle. Neely *et al.* (2011) ont étudié la nociception, définie comme la «perception sensorielle des stimuli

potentiellement nocifs et dangereux», et ont trouvé que les gènes de la nociception chez les insectes étaient identiques à ceux des mammifères, suggérant que la nociception existe au moins chez certains insectes. Cependant, il n'est pas certain soit qu'ils agissent par simple réflexe, soit qu'ils mobilisent des circuits neuronaux plus élevés. Bien qu'il n'y ait aucune preuve que les insectes possèdent des capacités cognitives pour ressentir la souffrance, certains invertébrés, tels que les céphalopodes, semblent posséder des capacités cognitives avancées (Crook et Walters, 2011). Jusqu'à ce que des preuves irréfutables que les insectes ressentent la douleur soient rassemblées, Eisemann *et al.*, ont suggéré que, par précaution, les insectes bénéficient du doute. Les méthodes de mise à mort des insectes limitant leur souffrance comprennent la congélation ou des méthodes instantanées comme le déchiquetage.

## 5.7 RISQUES DE ZOONOSES

L'élevage intensif avec de fortes concentrations d'animaux est le point de départ de nombreux problèmes significatifs de santé et, nous le savons, il est le déclencheur de l'apparition de résistances antimicrobiennes. Les maladies sont responsables de pertes à grande échelle d'animaux soit par mortalités élevées, soit du fait des politiques d'abattage. Certaines de ces maladies sont des zoonoses (p. ex. H5N1, la grippe aviaire hautement pathogène, la fièvre aphteuse, l'encéphalopathie spongiforme bovine et la fièvre Q – ou coxiellose).

Une **zoonose** est une infection ou une infestation partagée dans la nature par l'homme et par les animaux sauvages ou domestiques. Récemment, il semble qu'il y ait un fort accroissement des zoonoses en raison de l'intensification de la production animale et du changement climatique. Ces dernières années, l'apparition du coronavirus, responsable du syndrome respiratoire aigu sévère (connu sous le sigle de SRAS) et des virus de la grippe A (H5N1 et H7N7) ont provoqué une inquiétude mondiale relative aux pandémies potentielles. De nombreuses zoonoses du passé sont restées confinées à certaines populations; toutefois, dans un monde globalisé, la probabilité de telles pandémies est croissante. De nombreux exemples existent dans diverses parties du monde dont la leishmaniose, une affection zoonotique cutanée, à Manaus au Brésil; le virus Ebola, la variole du singe et la fièvre de la vallée du Rift, en Afrique et dans la péninsule arabique; la fièvre hémorragique de Congo-Crimée au Moyen-Orient; l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) en Europe et ailleurs; la fièvre du Nil occidental au Canada et aux États-Unis; et les paramyxovirus en Australie. Ceci montre qu'une grande diversité d'espèces animales, aussi bien domestiquées que sauvages, sont un réservoir de pathogènes sous forme de virus, de bactéries ou de parasites (Meslin et Formenty, 2004).

Dans le secteur de l'élevage, les pathogènes responsables de maladies infectieuses sont soumis aux pressions dues aux milieux d'élevage, de traitement et de vente. Toutes ensemble, ces conditions modifient les taux de contact avec l'hôte, la taille de la population et/ou les flux de circulation des microbes tout au long de la filière alimentaire. Les insectes destinés à l'alimentation humaine et animale n'ont pas été testés suffisamment pour évaluer le risque de transmission de maladies aux humains. Les équipements d'élevage intensif des insectes seront également soumis aux mêmes pressions que celles qui existent dans l'élevage animal, et, actuellement, la possibilité qu'ils puissent être la source de nouveaux pathogènes dangereux n'est pas bien comprise. Une attention particulière devrait être portée aux pathogènes dont les hôtes initiaux sont des animaux, mais qui pourraient choisir les humains comme hôte préférentiel. Plusieurs maladies bien connues (p. ex. les maladies liées au VIH) ont été communiquées aux humains de cette façon. La transmission du pathogène se produit en premier par l'adaptation des pathogènes à la nouvelle population hôte, et en deuxième étape par leur diffusion au sein de cette population hôte. L'adaptation du pathogène à son nouvel hôte dépend des différences génétiques entre les deux espèces hôtes et de la nature du pathogène même (Slingenbergh *et al.*, 2004).

Du fait que les insectes sont taxonomiquement beaucoup plus loin des humains que le bétail conventionnel, on estime que le risque de zoonose est bas. Néanmoins, les insectes sont les vecteurs potentiels de pathogènes médicalement importants, dont les œufs d'helminthes gastro-intestinaux qu'ils prélèvent dans les fèces humaines. Le risque d'infection zoonotique (transmission de maladies humaines aux animaux et inversement) pourrait augmenter avec la mauvaise gestion des déchets, le manque d'hygiène dans la manipulation des insectes, et les contacts directs entre les insectes d'élevage et les insectes sauvages en raison d'une faible biosécurité. Des recherches plus approfondies sont nécessaires dans ce domaine. Les questions de sécurité et de manipulation hygiénique des insectes sont abordées dans le chapitre 10.

## 5.8 LE CONCEPT «UNE SEULE SANTÉ»

La FAO, l'Organisation mondiale de la santé (WHO = OMS) et l'Organisation mondiale de la santé animale utilisent la définition informelle suivante de «Une seule santé»: «les efforts conjoints de multiples disciplines œuvrant aux niveaux local, national et global pour atteindre un état de santé optimal pour les populations, les animaux et l'environnement.» «Une seule santé» est un moyen pour gérer les menaces posées par l'interface entre les santés humaines, animales et environnementales. Cette conception de la santé reconnaît les liens étroits et les interconnections entre les santés humaines, animales et environnementales. Cette approche «santé» est associée à l'approche biosécurité: «La biosécurité est une approche intégrée et stratégique d'analyse et de gestion des risques auxquels sont confrontés les humains, les animaux et les plantes, de leur santé et les risques associés pour l'environnement» (WHO/FAO, 2010). L'entomophagie, de même que l'utilisation des insectes pour l'alimentation animale, est un domaine dans lequel l'application du concept «Une seule santé» serait appropriée, bien que des recherches plus approfondies soient nécessaires.

# 6. Valeur nutritionnelle des insectes pour l'alimentation humaine

## 6.1 COMPOSITION NUTRITIONNELLE

La valeur nutritionnelle des insectes comestibles est très variable, ne fût-ce qu'en raison de la grande diversité des espèces. Même au sein d'un seul groupe d'espèces d'insectes comestibles, ces valeurs nutritionnelles peuvent différer en fonction du stade de développement des insectes (en particulier, pour les espèces à métamorphoses complètes – connues sous le nom d'espèces holométaboles – telles que les fourmis, les abeilles et les coléoptères), de leur habitat et de leur alimentation. Comme pour la plupart des aliments, la préparation et les méthodes de production (p. ex. le séchage, la cuisson à l'eau bouillante, la friture) appliquées avant consommation influenceront également la composition nutritionnelle. Quelques études diverses ont analysé la valeur nutritionnelle des insectes comestibles; cependant, les données obtenues ne sont pas toujours comparables en raison des variations entre insectes, mentionnées ci-dessus, et en raison des différentes méthodes employées pour analyser ces composés. De plus, les insectes, dans les lieux où ils sont communément consommés, ne constituent qu'une part des régimes alimentaires locaux. Par exemple, dans certaines communautés africaines les insectes représentent 5 à 10 pour cent des protéines consommées (Ayieko et Oriaro, 2008). Néanmoins, du fait de leur valeur nutritionnelle, ils demeurent une source hautement significative de nourriture pour les populations humaines. Des tentatives de compilation de données sur la valeur nutritionnelle des insectes sont actuellement en cours (Encadré 6.1).

ENCADRÉ 6.1

**La base de données FAO/INFOODS sur la composition des aliments pour la biodiversité**

Le Réseau international des systèmes de données sur l'alimentation (INFOODS), établi en 1984, vise à stimuler et coordonner les efforts pour améliorer la qualité et la disponibilité au niveau mondial des données sur la composition des aliments, et à s'assurer que toutes les populations dans diverses parties du monde peuvent obtenir des données fiables et adéquates sur la composition des aliments. INFOODS et la FAO collectent des données sur la composition des aliments et sur la consommation à de nombreux niveaux (p. ex. variétés, cultivars et races), et sur les aliments d'origine naturelle ou sous-utilisés afin de promouvoir la biodiversité. La première version de la base de données INFOOD sur la composition des aliments pour la biodiversité, comprenant des données analytiques provenant de la littérature publiée ou non publiée, a été lancée le 15 décembre 2010 et comprend maintenant les valeurs nutritionnelles de certains insectes comestibles. Pour être incluses dans la liste, les valeurs nutritionnelles doivent être exprimées en part comestible de 100 g de poids frais consommé (FAO, 2012f).

Ce chapitre examine les aspects nutritionnels des insectes pour la consommation humaine, alors que le chapitre 8 traitera des insectes dans l'alimentation animale. Les composants principaux des insectes sont les protéines, les lipides et les fibres; les valeurs

nutritionnelles sont exprimées dans ce chapitre sous les termes d'apports énergétiques, de protéines, d'acides gras, de fibres, d'éléments minéraux et de vitamines.

Rumpold et Schlüter (2013) ont compilé les compositions nutritionnelles de 236 insectes comestibles, telles qu'elles sont publiées dans la littérature (par rapport au poids sec). Bien qu'il existe des variations significatives entre les données, de nombreux insectes comestibles fournissent des quantités satisfaisantes d'énergie et de protéines, satisfont les besoins humains en acides aminés, sont riches en acides gras mono et polyinsaturés, et sont riches en micronutriments tels que le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc, ainsi qu'en vitamines comme la riboflavine (B2), l'acide pantothénique (B5), la biotine (B8) et, dans certains cas, l'acide folique (B9).

### 6.1.1 Apports énergétiques alimentaires

Ramos Elorduy *et al.* (1997) ont analysé 78 espèces d'insectes de l'État de Oaxaca au Mexique, et ont déterminé que les apports caloriques allaient de 293 à 762 kilocalories pour 100 g de matière sèche. Par exemple, l'énergie brute (qui est normalement plus élevée que l'énergie métabolisée) du criquet migrateur (*Locusta migratoria*) se situait entre 598 et 816 kJ pour 100 g de poids frais (recalculé à partir du poids sec), en fonction des aliments consommés par les insectes (Oonincx et van der Poel, 2011). Le tableau 6.1 présente les valeurs énergétiques exprimées en kilocalories pour 100 g de poids frais de quelques insectes sauvages ou d'élevage choisis dans le monde.

TABLEAU 6.1
**Exemples des valeurs énergétiques d'espèces d'insectes préparées de différentes façons, par région**

| Localisation | Nom commun | Nom scientifique | Valeur énergétique (kcal/100 g poids frais) |
|---|---|---|---|
| Australie | Criquet australien, cru | *Chortoicetes terminifera* | 499 |
| Australie | Fourmi tisserande verte, crue | *Oecophylla smaragdina* | 1 272 |
| Canada, Québec | Mélanople à pattes rouges, entière, crue | *Melanoplus femurrubrum* | 160 |
| États-Unis, Illinois | Ver jaune de farine, larve du ténébrion meunier, cru | *Tenebrio molitor* | 206 |
| États-Unis, Illinois | Ténébrion meunier, adulte cru | *Tenebrio molitor* | 138 |
| Côte d'Ivoire | Termite, adulte, désailé, séché, farine | *Macrotermes subhyalinus* | 535 |
| Mexique, État de Véracruz | Fourmi coupeuse de feuilles, adulte crue | *Atta mexicana* | 404 |
| Mexique, État de Hidalgo | Fourmi-pot-de-miel, adulte crue | *Myrmecocystus melliger* | 116 |
| Thaïlande | Grillon provençal, cru | *Gryllus bimaculatus* | 120 |
| Thaïlande | Nèpe géante (scorpion d'eau), crue | *Lethocerus indicus* | 165 |
| Thaïlande | Criquet d'Indonésie, cru | *Oxya japonica* | 149 |
| Thaïlande | Criquet brun tacheté, cru | *Cyrtacanthacris tatarica* | 89 |
| Thaïlande | Ver à soie domestique, chrysalide crue | *Bombyx mori* | 94 |
| Pays-Bas | Criquet migrateur, adulte cru | *Locusta migratoria* | 179 |

*Source:* FAO, 2012f.

### 6.1.2 Protéines

Des informations générales sur les protéines et divers acides aminés, ainsi que sur la qualité des protéines sont fournies dans l'encadré 6.2.

Xiaoming *et al.* (2010) ont évalué la teneur en protéines de 100 espèces appartenant à divers ordres d'insectes. Le tableau 6.2 montre que la teneur en protéines varie de 13 à 77 pour cent de la matière sèche et qu'il y a de grandes variations entre les ordres d'insectes, mais aussi à l'intérieur d'un même ordre.

ENCADRÉ 6.2

**Les protéines et les acides aminés («chimie des aliments»)**

Les protéines sont des macromolécules organiques composées de chaînes d'acides aminés. Ce sont des éléments nutritifs importants des aliments et qui contribuent aussi à leurs propriétés physiques et gustatives. La valeur nutritive dépend de divers facteurs: **la teneur en protéines**, qui varie fortement selon les aliments; la qualité des protéines, qui dépend de la nature des acides aminés présents (essentiels ou non essentiels) et si cette qualité convient aux besoins humains; et la **digestibilité des protéines** qui se réfère à la digestibilité des acides aminés présents dans l'aliment.

**Les acides aminés** sont les briques nécessaires pour la biosynthèse de toutes les protéines par le métabolisme humain pour assurer la croissance, le développement et la subsistance de l'organisme.

**Les acides aminés essentiels** sont indispensables car le corps ne peut pas les synthétiser et ils doivent être obtenus des aliments. Huit acides aminés sont qualifiés d'essentiels: phénylalanine, valine, thréonine, tryptophane, isoleucine, méthionine, leucine et lysine.

TABLEAU 6.2

**Teneurs en protéines brutes des insectes (classés par ordre)**

| Ordre des insectes | Stade | Variations de la teneur en protéines (%) |
|---|---|---|
| Coléoptères | Adultes et larves | 23 – 66 |
| Lépidoptères | Chrysalides et chenilles | 14 – 68 |
| Hémiptères | Adultes et larves | 42 – 74 |
| Homoptères | Adultes, larves et œufs | 45 – 57 |
| Hyménoptères | Adultes, nymphes, larves et œufs | 13 – 77 |
| Odonates | Adultes et larves aquatiques | 46 – 65 |
| Orthoptères | Adultes et juvéniles | 23 – 65 |

*Source:* Xiaoming *et al.*, 2010.

Bukkens (1997) a montré que les chenilles mopane avaient une teneur en protéines plus faible lorsqu'elles étaient grillées que lorsqu'elles étaient séchées (respectivement 48 et 57 pour cent). Il en était de même pour les termites: la teneur en protéines était de 20 pour cent dans les termites crus, 32 et 37 pour cent du poids frais, une fois frits et fumés, respectivement (les différences étant dues à des taux d'humidité variables). La teneur en protéines des insectes est élevée et l'utilisation des insectes dans l'alimentation peut donc en améliorer la qualité nutritive comme source de protéines animales.

Les teneurs en protéines des insectes varient aussi fortement en fonction des espèces. Comme le montre le tableau 6.3, certains insectes tiennent la comparaison avec les mammifères, les reptiles et les poissons.

La teneur en protéines dépend aussi de l'alimentation fournie aux insectes (p. ex. légumes, céréales ou déchets). Au Nigéria, les sauterelles qui sont nourries avec du son qui contient de fortes teneurs en acides gras essentiels, ont une teneur en protéines presque deux fois plus forte que celles nourries au maïs. La teneur en protéines des insectes dépend aussi de leur stade de développement (Ademolu *et al.*, 2010): les adultes ont en général une teneur en protéines plus élevée que celle des stades larvaires (Tableau 6.4).

Au Mexique, les teneurs en protéines de 78 espèces étudiées varient de 15 à 81 pour cent de la matière sèche et la digestibilité des protéines varie de 76 à 98 pour cent (Ramos Elorduy *et al.*, 1997). Des études comparables ont été réalisées sur une seule espèce comme la chenille mopane (Headings et Rahnema, 2002) et le grillon des champs

*Gryllus testaceus* (Wang *et al.*, 2004). Bukkens (2005) a analysé la teneur en protéines des chenilles de 17 espèces appartenant à la famille des Saturniidae (dont fait partie la chenille mopane) et a trouvé des teneurs variant entre 52 et 80 pour cent de la matière sèche.

TABLEAU 6.3
**Comparaison de la teneur moyenne en protéines des insectes, des reptiles, des poissons et des mammifères**

| Groupe animal | Espèces et noms communs | Produit comestible | Teneur en protéines (g/100 g poids frais) |
|---|---|---|---|
| Insectes (crus) | Criquets et sauterelles: *Locusta migratoria, Acridium melanorhodon, Ruspolia differens* | Larves | 14–18 |
| | Criquets et sauterelles: *Locusta migratoria, Acridium melanorhodon, Ruspolia differens* | Adultes | 13–28 |
| | *Sphenarium purpurascens* (chapulines, Mexique) | Adultes | 35–48 |
| | Ver à soie (*Bombyx mori*) | Chenilles | 10–17 |
| | Charançon du palmier: *Rhynchophorus palmarum, R. phoenicis, Callipogon barbatus* | Larves | 7–36 |
| | Ver de farine (*Tenebrio molitor*) | Larves | 14–25 |
| | Grillons | Adultes | 8–25 |
| | Termites | Adultes | 13–28 |
| Bovins | | Bœuf (cru) | 19–26 |
| Reptiles (cuits) | Tortues: *Chelodina rugosa, Chelonia depressa* | Chair | 25–27 |
| | | Intestins | 18 |
| | | Foie | 11 |
| | | Bœuf | 17–23 |
| | | Foie | 12–27 |
| Produits halieutiques (crus) | Poissons | Tilapia | 16–19 |
| | | Maquereau | 16–28 |
| | | Poisson-chat | 17–28 |
| | Crustacés | Homard | 17–19 |
| | | Gambas | 16–19 |
| | | Crevette | 13–27 |
| | Mollusques | Seiche, calmar | 15–18 |

*Source:* FAO, 2012f.

TABLEAU 6.4
**Variations de la teneur en protéines des différents stades du criquet puant, *Zonocerus variegatus* (cru), tout au long de ses métamorphoses successives, État d'Ogun, Nigéria**

| Étape du cycle de l'insecte | Grammes de protéines pour 100 g de poids frais |
|---|---|
| Stade: | |
| Premier | 18,3 |
| Deuxième | 14,4 |
| Troisième | 16,8 |
| Quatrième | 15,5 |
| Cinquième | 14,6 |
| Sixième | 16,1 |
| Adulte | 21,4 |

*Source:* Ademolu, Idowu et Olatunde, 2010.

### 6.1.3 Acides aminés

Les protéines de céréale qui sont les aliments de base les plus importants dans le monde entier, sont souvent pauvres en lysine et, dans certains cas, manquent de certains acides aminés comme le tryptophane (p. ex. chez le maïs) ou la thréonine. Certaines espèces d'insectes sont très riches en ces acides aminés (Bukkens, 2005). Par exemple, plusieurs chenilles de la famille des Saturniidae, les larves de charançon du palmier et les insectes aquatiques ont des teneurs en lysine supérieures à 100 mg pour 100 g de protéines brutes. Cependant, avant de recommander l'utilisation des insectes comestibles pour enrichir les régimes alimentaires, il est capital d'examiner les régimes alimentaires traditionnels dans leur totalité, plus particulièrement les aliments de base, et de comparer leur qualité nutritionnelle avec celle des insectes comestibles disponibles localement dans la région. En République démocratique du Congo, par exemple, des chenilles riches en lysine complémentent les aliments de base pauvres en lysine. De même, les populations de Papouasie-Nouvelle-Guinée consomment des tubercules pauvres en lysine et en leucine mais compensent cette carence nutritionnelle en consommant des larves de charançon du palmier. Les tubercules fournissent du tryptophane et des acides aminés aromatiques qui sont rares dans les charançons du palmier (Bukkens, 2005). Dans les pays africains où le maïs est l'aliment de base – tels que l'Angola, le Kenya, le Nigéria et le Zimbabwe – il y a parfois des carences diffuses en tryptophane et en lysine; l'enrichissement du régime alimentaire avec des termites comme, par exemple, de l'espèce *Macrotermes bellicosus* (en Angola) devrait être une étape relativement facile car ils sont déjà des ingrédients acceptés dans les plats traditionnels. Toutefois, toutes les espèces de termites ne conviennent pas. *Macrotermes subhyalinus*, par exemple, n'est pas riche en ces acides aminés (Sogbesan et Ugwumba, 2008).

### 6.1.4 Teneur en matière grasse

La matière grasse est le macronutriment à la plus forte valeur énergétique. Elle est constituée de triglycérides qui ont tous pour structure une molécule de glycérol et trois acides gras. L'encadré 6.3 présente les acides gras saturés, insaturés et essentiels.

ENCADRÉ 6.3
**Les acides gras**

**Les acides gras saturés.** En général, les acides gras saturés ont un point de fusion plus élevé que celui des acides gras insaturés et sont solides à température ambiante. On les trouve souvent dans les produits animaux et dans les huiles tropicales (p. ex. huiles de palme et de coprah).

**Les acides gras insaturés.** On distingue les acides gras monoinsaturés et les acides gras polyinsaturés; les acides gras insaturés sont généralement liquides à température ambiante. Ils comportent au moins une double liaison et libèrent un peu moins d'énergie lors de leur métabolisation. Ils sont surtout présents dans les huiles végétales, les noix et les produits de la mer. Les acides gras insaturés sont considérés meilleurs pour la santé humaine que les matières grasses saturées.

**Les acides gras essentiels.** Ils ne peuvent pas être synthétisés par le métabolisme humain, ce qui veut dire qu'ils doivent être obtenus par les aliments. Ils comprennent certains acides gras oméga-3 (p. ex. l'acide α-linolénique) et quelques acides gras oméga-6 (p. ex. l'acide linoléique).

Les larves australiennes du witchetty sont l'exemple même d'espèces d'insectes comestibles à forte teneur en matières grasses (38 pour cent de la matière sèche) (Encadré 6.4). Elles sont très riches en acide oléique, qui est un acide gras oméga-9 monoinsaturé (Naughton, Odea et Sinclair, 1986).

ENCADRÉ 6.4

**Les larves du witchetty**

Le terme «larves du witchetty» (aussi épelé witjuti) désigne en Australie de grosses chenilles blanches lignivores de plusieurs papillons (Cossidae et Hepialidae) et des larves de coléoptères (Cerambycidae). Cependant, ce terme s'applique surtout aux chenilles d'un papillon cossidé, *Xyleutes* sp., qui se nourrit à une profondeur de 60 cm dans le sol, au dépens des racines du gommier des rivières (*Eucalyptus camaldulensis*). Ces larves sont l'aliment principal issu des insectes dans le désert et constituaient la nourriture de base des femmes et des enfants aborigènes. Comestibles aussi bien crues que légèrement cuites dans des cendres chaudes, elles sont recherchées par les Aborigènes comme aliment riche en protéines et riche en matières grasses. Les larves crues du witchetty ont le goût d'amandes; lorsqu'elles sont cuites, la peau devient croustillante comme du poulet grillé et l'intérieur prend une teinte jaune clair.

Les insectes comestibles sont une importante source de matières grasses. Womeni *et al.* (2009) ont étudié la teneur et la composition des huiles extraites de différents insectes (tableau 6.5). Leurs huiles sont riches en acides gras polyinsaturés et contiennent fréquemment les acides essentiels linoléique et α-linolénique. La valeur nutritionnelle de ces deux acides gras essentiels est bien connue, principalement pour le développement sain des nourrissons et des jeunes enfants (Michaelsen *et al.*, 2009).

TABLEAU 6.5

**Teneurs en matières grasses et en quelques acides gras sélectionnés au hasard de plusieurs espèces d'insectes comestibles consommées au Cameroun**

| Espèces d'insectes comestibles | Teneur en matières grasses (en % de la matière sèche) | Composition des principaux acides gras (% de la teneur en huile) | AGS, AGMI ou AGPI* |
|---|---|---|---|
| Charançon africain du palmier (*Rhynchophorus phoenicis*) | 54 | Acide palmitoléique (38%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (45%) | AGPI |
| Sauterelle comestible (*Ruspolia differens*) | 67 | Acide palmitoléique (28%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (46%) | AGPI |
| | | Acide α-linolénique (16%) | AGPI |
| Criquet puant (*Zonocerus variegates*) | 9 | Acide palmitoléique (24%) | AGMI |
| | | Acide oléique (11%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (21%) | AGPI |
| | | Acide α-linolénique (15%) | AGPI |
| | | Acide γ-linolénique (15%) | AGPI |
| Termites (*Macrotermes* sp.) | 49 | Acide palmitique (30%) | AGS |
| | | Acide oléique (48%) | AGMI |
| | | Acide stéarique (9%) | AGS |
| Chenille de saturnidé (*Imbrasia* sp.) | 24 | Acide palmitique (8%) | AGS |
| | | Acide oléique (9%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (7%) | AGPI |
| | | Acide α-linolénique (38%) | AGPI |

*Note:* * AGS, acides gras saturés; AGMI, acides gras monoinsaturés; AGPI, acides gras polyinsaturés.
*Source:* Womeni *et al.*, 2009.

Une attention plus grande a été portée aux carences potentielles en acides gras oméga-3 et oméga-6 constatées récemment et contre lesquelles les insectes pourraient jouer un rôle capital, en particulier dans les pays en développement enclavés avec un accès limité

aux produits de la mer, en complémentant les régimes alimentaires locaux avec ces acides gras essentiels (N. Roos, communication personnelle, 2012). La composition en acides gras des insectes semble influencée par les plantes dont ils se nourrissent (Bukkens, 2005). La présence d'acides gras insaturés va aussi induire une oxydation rapide des produits alimentaires issus des insectes lors de leur transformation, provoquant leur rancissement rapide.

### 6.1.5 Micronutriments

Les micronutriments – qui comprennent les minéraux et les vitamines – jouent un rôle important dans la valeur nutritionnelle d'un aliment. Les carences en micronutriments, qui sont communes dans de nombreux pays en développement, peuvent avoir des conséquences néfastes majeures sur la santé, contribuant à des défauts de croissance, des troubles des fonctions immunitaires, du développement mental et physique, ainsi que de la reproduction, troubles qui ne peuvent pas toujours être corrigés par des supplémentations alimentaires (FAO, 2011c). Chez les insectes, le stade de développement et la nourriture ingérée influencent fortement la valeur nutritionnelle, rendant peu utiles tous les bilans globaux des teneurs en micronutriments des différentes espèces d'insectes. De plus, les teneurs en minéraux et en vitamines des insectes comestibles, décrites dans la littérature, varient fortement entre les espèces et les ordres. La consommation de la totalité du corps de l'insecte augmente généralement le contenu nutritionnel. Une étude sur les petits poissons, par exemple, a montré que la consommation de la totalité de l'organisme – donc de tous les tissus qui le composent – est une meilleure source de minéraux et de vitamines que la consommation des filets de poisson. D'une façon tout à fait comparable, la consommation de la totalité d'un insecte est supposée fournir plus de micronutriments que la consommation de parties de cet insecte (N. Roos, communication personnelle, 2012).

### 6.1.6 Éléments minéraux

Les éléments minéraux jouent un rôle essentiel dans les processus biologiques. L'apport journalier recommandé (AJR) et l'apport adéquat sont généralement utilisés pour quantifier l'apport journalier de minéraux. Le tableau 6.6 compare l'AJR de minéraux pour un homme âgé de 25 ans avec les quantités apportées par la chenille mopane.

TABLEAU 6.6
**Doses journalières recommandées de minéraux essentiels comparées aux teneurs constatées dans la chenille mopane (*Imbrasia belina*)**

| Éléments minéraux | Apports recommandés pour un homme âgé de 25 ans (mg/jour)* | Chenilles mopane (mg/100 g de poids sec) |
|---|---|---|
| Potassium | 4 700 | 1 032 |
| Chlorure | 2 300 | – |
| Sodium | 1 500 | 1 024 |
| Calcium | 1 000 | 174 |
| Phosphore | 700 | 543 |
| Magnésium | 400 | 160 |
| Zinc | 11 | 14 |
| Fer | 8 | 31 |
| Manganèse | 2,3 | 3,95 |
| Cuivre | 0,9 | 0,91 |
| Iode | 0,15 | – |
| Sélénium | 0,055 | – |
| Molybdène | 0,045 | – |

*Note:* * Apports nutritionnels de référence (ANR): rations alimentaires recommandées et prises adéquates, éléments minéraux, Comité des aliments et de la nutrition, Institut de médecine, Académies nationales.

*Source:* Bukkens, 2005.

D'après ce tableau, il est évident que la chenille mopane – tout comme de nombreux insectes comestibles – est une excellente source de fer. La plupart des insectes comestibles se targuent de teneurs en fer équivalentes ou supérieures à celles du bœuf (Bukkens, 2005). Le bœuf contient 6 mg de fer pour 100 g de matière sèche, alors que la chenille mopane en contient, par exemple, de 31 à 77 mg pour 100 g. La teneur en fer des criquets (*Locusta migratoria*) varie entre 8 et 20 mg pour 100 g de matière sèche en fonction de leur alimentation (Oonincx *et al.*, 2010).

Les insectes comestibles sont indéniablement des sources riches en fer et leur incorporation dans le menu quotidien pourrait lutter contre les carences en fer et contribuer à prévenir les anémies dans les pays en développement. L'OMS a signalé que les carences en fer sont le trouble nutritionnel le plus commun et le plus répandu dans le monde. Dans les pays en développement, on pense qu'une femme enceinte sur deux et environ 40 pour cent des enfants d'âge préscolaire sont anémiés. Les conséquences sanitaires sont entre autres des grossesses à problèmes, un développement physique et cognitif anormal, un risque accru de morbidité infantile et une productivité réduite des adultes au travail. L'anémie est une déficience évitable qui contribue à 20 pour cent de l'ensemble des décès maternels. En raison de la teneur élevée en fer de plusieurs espèces d'insectes, l'évaluation d'un plus grand nombre d'espèces d'insectes comestibles est justifiée (FAO/WHO, 2001b).

Les carences en zinc sont un autre problème central de santé publique, en particulier pour la santé infantile et maternelle. Les carences en zinc peuvent induire des retards de croissance, de maturation osseuse et sexuelle, des lésions cutanées, des diarrhées, de l'alopécie, des pertes d'appétit et une sensibilité accrue aux infections provoquée par des déficiences du système immunitaire (FAO/WHO, 2001b). On pense que la plupart des insectes sont, en général, une bonne source de zinc. Les teneurs moyennes de la viande de bœuf sont de 12,5 mg pour 100 g de poids sec, alors que les larves de charançon du palmier (*Rhynchophorus phoenicis*), par exemple, en contiennent 26,5 mg pour 100 g (Bukkens, 2005).

### 6.1.7 Vitamines

Les vitamines, qui sont essentielles pour stimuler les processus métaboliques et renforcer les fonctions du système immunitaire, sont présentes dans la plupart des insectes comestibles. Bukkens (2005) a montré que chez toute une série d'insectes les teneurs en thiamine (aussi appelée vitamine B1, une vitamine majeure qui agit principalement comme coenzyme dans la métabolisation des hydrates de carbone pour fournir de l'énergie) s'étendent de 0,11 à 8,9 mg pour 100 g. Par comparaison, le pain complet fournit 0,16 mg et 0,19 mg pour 100 g de vitamines B1 et B2 respectivement. La vitamine B12 n'est fournie que par les aliments d'origine animale et les vers de farine, *Tenebrio molitor*, en sont particulièrement riches (0,47 µg pour 100 g) ainsi que les grillons domestiques, *Acheta domesticus* (5,4 µg pour 100 g chez les adultes et 8,7 µg chez les juvéniles). Néanmoins, de nombreuses espèces ont des teneurs très basses en vitamine B12, ce qui rend nécessaire des études plus approfondies pour identifier les insectes comestibles riches en vitamines B (Bukkens, 2005; Finke, 2002).

Le rétinol et le β-carotène (vitamine A) ont été détectés dans certaines chenilles, dont *Imbrasia* (= *Nudaurelia*) *oyemensis*, *I. truncata* et *I. epimethea*; les teneurs allaient de 32 µg à 48 µg pour 100 g et de 6,8 µg à 8,2 µg pour 100 g de matière sèche pour, respectivement, le rétinol et le β-carotène. Les teneurs pour ces vitamines étaient inférieures à 20 µg pour 100 g et inférieures à 100 µg pour 100 g chez le ver de farine, le ver géant de farine et chez le grillon domestique (Finke, 2002; Bukkens, 2005; Oonincx et Poel, 2011). En général, les insectes ne sont pas les meilleures sources de vitamine A (D. Oonincx, communication personnelle, 2012). La vitamine E est présente dans les larves de charançon du palmier, par exemple, avec des teneurs respectives de 35 mg de α-tocophérol pour 100 g et de 9 mg de β+γ tocophérol pour 100 g; la prise quotidienne

recommandée est de 15 mg (Bukkens, 2005). La teneur en vitamine E de la poudre de vers à soie (*Bombyx mori*) moulus et lyophilisés est aussi relativement élevée, avec 9,65 mg pour 100 g (Tong, Yiu et Liu, 2011).

### 6.1.8 Teneurs en fibres

Les insectes contiennent des quantités significatives de fibres, mesurées en fibres brutes, fibres insolubles dans les détergents acides et fibres insolubles dans les détergents neutres. La forme la plus courante de fibre chez les insectes est la chitine, une fibre insoluble issue de l'exosquelette. Une quantité importante de données sur les teneurs en fibres des insectes est disponible, mais ces données ont été obtenues par diverses méthodes et ne sont pas facilement comparables (H. Klunder, communication personnelle, 2012). Finke (2007) a mesuré la teneur en chitine des espèces d'insectes élevées commercialement pour l'alimentation des insectivores, et a trouvé des valeurs comprises entre 2,7 mg et 49,8 mg par kg (poids frais) et de 11,6 mg à 137,2 mg par kg (matière sèche).

La chitine, principal composant de l'exosquelette d'un insecte, est un polymère à chaîne longue de N-acétylglucosamine – un dérivé du glucose. La chitine est très semblable à la cellulose, un polysaccharide végétal qui est généralement reconnue comme indigeste pour l'homme; cependant, de la chitinase a été trouvée dans les sucs gastriques humains (Paoletti *et al.*, 2007). Le rôle de la chitine a également été évoqué dans la lutte contre les infections parasitaires et dans certaines affections allergiques. L'étude ci-dessus, conduite sur des Italiens, a montré l'absence de chitinase dans 20 pour cent des cas. La digestion de la chitine est plus fréquente dans les pays tropicaux où les insectes sont régulièrement consommés; il pourrait y avoir une moindre digestibilité de la chitine dans les pays occidentaux en raison de l'absence de chitine dans le régime alimentaire. Certains soutiennent que la chitine joue le rôle de fibre diététique (Muzzarelli *et al.*, 2001), ceci rend intéressants les insectes comestibles ayant une forte teneur en fibres, en particulier les espèces avec un exosquelette dur (Bukkens, 2005).

## 6.2 DU BŒUF OU DES INSECTES: L'EXEMPLE DU VER DE FARINE

Finke (2002) a étudié la valeur nutritionnelle de plusieurs espèces d'insectes dont le ver de farine (*Tenebrio molitor*). Cette larve de coléoptère a été signalée comme prometteuse pour l'élevage de masse dans les pays occidentaux car cette espèce est endémique sous climat tempéré et facile à élever en masse; son cycle de vie est court et les techniques d'élevage sont déjà disponibles, particulièrement pour le secteur industriel de l'alimentation des animaux de compagnie. Dans l'étude de Finke (2002), les insectes étaient mis à jeûner pendant 24 heures pour vider leur tractus digestif. Les conclusions suivantes ont été tirées (sur la base du poids sec, sauf en ce qui concerne l'humidité et l'énergie):

- **Composition des macronutriments.** La teneur en matières grasses du bœuf est supérieure à celle des larves du ténébrion meunier (ver de farine). Le bœuf a un taux d'humidité légèrement plus bas que le ver de farine et il est faiblement plus riche en protéines et en énergie métabolisable.
- **Acides aminés.** Le bœuf est plus riche que le ver de farine, entre autres, en acide glutamique, lysine et méthionine, et plus pauvre, entre autres, en isoleucine, leucine, valine, tyrosine et alanine.
- **Acides gras.** Le bœuf contient plus d'acides palmitoléiques, palmitiques et stéariques que le ver de farine, mais des teneurs bien plus élevées en acides linoléiques essentiels sont présentes chez les vers de farine. Howard et Stanley-Samuelson (1990) ont analysé la composition en acides gras phospholipidiques des adultes de *T. molitor* et ont trouvé que plus de 80 pour cent de ces acides gras étaient des acides palmitiques, stéariques, oléiques et linoléiques. Finke (2002) a trouvé les mêmes taux élevés d'acides gras dans les larves de *T. molitor.* Les acides gras polyinsaturés sont le plus fréquemment trouvés sous la forme de phospholipides (Howard et Stanley-Samuelson, 1990).

- **Minéraux.** Les vers de farine contiennent des teneurs comparables en cuivre, sodium, potassium, fer, zinc et sélénium.
- **Vitamines.** Les vers de farine ont des teneurs en vitamines généralement supérieures à celles du bœuf, à l'exception de la vitamine B12.

TABLEAU 6.7
**Analyses approximatives moyennes d'un échantillon de *Tenebrio molitor* et de bœuf en pourcentage de matière sèche sauf pour le taux d'humidité**

| | *T. molitor** | Bœuf |
|---|---|---|
| Humidité (en % du poids frais) | 61,9 | 52,3 |
| Protéines | 49,1 | 55,0 |
| Matières grasses | 35,2 | 41,0 |
| Énergie métabolisable (kcal/kg) | 2 056 | 2 820 |

*Notes:* * Masse corporelle moyenne: 0,13 g. Les données présentées résultent d'une seule analyse.
*Source:* Adapté par D. Oonincx de Finke, 2002, et de USDA, 2012.

TABLEAU 6.8
**Teneur moyenne en acides aminés du *Tenebrio molitor* et du bœuf (teneurs en g/kg de matière sèche, sauf indication contraire)**

| Acides aminés | *T. molitor* (g/kg de matière sèche) | Bœuf (g/kg de matière sèche) |
|---|---|---|
| Essentiels | | |
| Isoleucine | 24,7 | 16 |
| Leucine | 52,2 | 42 |
| Lysine | 26,8 | 45 |
| Méthionine | 6,3 | 16 |
| Phénylalanine | 17,3 | 24 |
| Thréonine | 20,2 | 25 |
| Tryptophane | 3,9 | – |
| Valine | 28,9 | 20 |
| Semi-essentiels | | |
| Arginine | 25,5 | 33 |
| Histidine | 15,5 | 20 |
| Méthionine + cystéine | 10,5 | 22 |
| Tyrosine | 36,0 | 22 |
| Non essentiels | | |
| Alanine | 40,4 | 30 |
| Acide aspartique | 40,0 | 52 |
| Cystéine | 4,2 | 5,9 |
| Glycine | 27,3 | 24 |
| Acide glutamique | 55,4 | 90 |
| Proline | 34,1 | 28 |
| Sérine | 25,2 | 27 |
| Taurine (mg/kg) | 210 | – |

*Source:* Adapté par D. Oonincx de Finke, 2002, et de USDA, 2012.

La généralisation qui peut être faite des teneurs nutritionnelles de *T. molitor* présentées dans les tableaux 6.7, 6 .8 et 6.9 est limitée car ces données proviennent d'une seule étude et la croissance, le développement et la composition nutritionnelle des insectes dépendent de leur régime alimentaire spécifique (Davis et Sosulski, 1974; Anderson, 2000; Finke, 2002). Les larves de *Tenebrio molitor*, par exemple, nécessitent une concentration en hydrates de carbone dans leur régime alimentaire d'au moins 40 pour cent pour se développer et une

croissance optimale est obtenue lorsque l'insecte est élevé sur un milieu contenant 70 pour cent d'hydrates de carbone (Behmer, 2006). De plus, les larves croissent et se développent plus vite lorsque de l'eau est accessible que lorsqu'elles sont élevées uniquement sur aliments secs (Urs et Hopkins, 1973a). En outre, les larves élevées en présence d'humidité sont plus lourdes; cette différence de poids n'est pas due à une plus forte teneur en eau mais à une plus forte teneur en matières grasses car bien que les insectes puissent être élevés sur des déchets organiques de faible valeur, cela va affecter leur qualité nutritionnelle qui se traduit par des valeurs inférieures à celles données dans les tableaux 6.8 et 6.9.

TABLEAU 6.9
**Teneurs en acides gras du *Tenebrio molitor* et du bœuf (matière sèche)**

| Acides gras | Saturation | *T. molitor** | Bœuf |
|---|---|---|---|
| Essentiels | | | |
| Linoléique | Oméga-6 polyinsaturé | 91,3 | 10,2 |
| Linolénique | Oméga-3 polyinsaturé | 3,7 | 3,9 |
| Arachidonique | Oméga-6 polyinsaturé | – | 0,63 |
| Non essentiels | | | |
| Caprique | Saturé | – | 1,05 |
| Laurique | Saturé | < 0,5 | 1,05 |
| Myristique | Saturé | 7,6 | 13 |
| Pentadécanoïque | Saturé | < 0,5 | – |
| Palmitique | Saturé | 60,1 | 99 |
| Palmitoléique | Oméga-7 monoinsaturé | 9,2 | 17 |
| Heptadécanoïque | Saturé | < 0,5 | – |
| Heptadécénoïque | Oméga-7 monoinsaturé | 0,8 | – |
| Stéarique | Saturé | 10,2 | 48 |
| Oléique | Oméga-9 monoinsaturé | 141,5 | 159 |
| Arachidique | Saturé | 0,8 | – |
| Eicosénoïque | Oméga-9 monoinsaturé | – | 0,63 |
| Autres | | 0,5 | – |

*Notes:* Les tirets indiquent que les données ne sont pas disponibles. Les valeurs avec le signe < (inférieur à) indiquent les limites de détection des mesures; les teneurs étaient inférieures à cette limite.
* Les données présentées résultent d'une seule analyse.

*Source:* Adapté par D. Oonincx de Finke, 2002, et de USDA, 2012.

## 6.3 DES INSECTES AU MENU

### 6.3.1 Rôle des insectes dans les régimes alimentaires: régimes traditionnels

Les aliments traditionnels sont ceux qui sont acceptés par une communauté – à travers les habitudes et la tradition – et qui sont recherchés et adéquats. Les aliments traditionnels sont accessibles localement dans un environnement naturel, obtenus par l'agriculture et l'élevage ou par la récolte dans la nature et qui constituent des éléments majeurs des régimes alimentaires dans le monde entier.

> Les systèmes d'alimentation des peuples indigènes montrent le rôle important d'un régime alimentaire diversifié basé sur les espèces animales et végétales locales pour assurer santé et bien-être. Dans la plupart des cas, l'augmentation des aliments commerciaux et cuisinés conduit au fil du temps à une dégradation de la qualité du régime alimentaire. Les pays, les communautés ou les cultures qui maintiennent leurs propres systèmes traditionnels d'alimentation sont mieux aptes à conserver leurs spécialités locales avec la diversité des cultures agricoles et des animaux d'élevage qui leur sont associées. Ils sont aussi probablement moins sensibles aux maladies liées à l'alimentation (FAO, 2009b).

Les populations en Afrique, en Asie et en Amérique latine consomment des insectes qui sont une part courante de leur régime alimentaire. Elles ne le font pas seulement parce que les viandes conventionnelles telles que le bœuf, le poisson ou le poulet ne sont pas disponibles et que les insectes constituent alors une source vitale de protéines, mais aussi parce que les insectes sont considérés comme une nourriture importante, et souvent comme des friandises.

Le problème n'est pas de simplement convaincre les Occidentaux de consommer des insectes, mais aussi de s'assurer que les pratiques traditionnelles de consommation des insectes comestibles ne vont pas disparaître alors que les régimes alimentaires s'occidentalisent. Dans les pays où les insectes comestibles font régulièrement partie des menus traditionnels, l'adoption progressive de plats occidentaux constitue une menace réelle contre l'entomophagie. Pour contrecarrer cette tendance, des efforts sont en cours pour associer la consommation traditionnelle des insectes à des plats plus populaires. Au Mexique, par exemple, il n'est pas rare de trouver des tortillas enrichies avec des vers de farine comme source traditionnelle de protéines (Aguilar-Miranda *et al.*, 2002) (Encadré 6.5).

ENCADRÉ 6.5

**Don Bugito: cuisine de rue mexicaine traditionnelle et créative**

Monica Martinez est une artiste de 38 ans. Elle utilise l'art pour convaincre le public de considérer les insectes comme une source viable de nourriture. Ceci est à l'origine de Don Bugito – lancé en 2011 – un projet de cuisine de rue qui vend des plats à base d'insectes comestibles sains pour l'homme et pour la planète, à l'occasion de fêtes, de festivals et de salons agroalimentaires. Inspiré par la cuisine mexicaine préhispanique et contemporaine, Don Bugito propose une utilisation traditionnelle et créative des insectes comestibles, élevés naturellement en Californie – où réside Monica Martinez – en suivant les règles de l'agriculture biologique. «La culture culinaire de San Francisco et les fortes communautés asiatiques et latino qui y vivent, – et dont les cuisines comprennent déjà des insectes comestibles – font de cette ville un banc d'essai naturel» dit l'artiste. La cuisine ambulante propose les ingrédients familiers de la cuisine mexicaine – tortillas moelleuses de maïs hopi, chilis et fromages – accompagnés des insectes riches en protéines de la cuisine préhispanique. Des chenilles dodues de la teigne de la cire emplissent des tacos, accompagnés de piments et d'une sauce à la menthe et à la coriandre (Campbell, 2011). Monica Martinez sert en plus des grillons grillés et comme dessert, des vers de farine caramélisés sur une glace mexicaine à la vanille.

*Source:* Sweet, 2011.

### 6.3.2 Quelle est l'importance des insectes comestibles pour l'apport de protéines dans les régimes traditionnels?

L'importance des insectes comestibles au niveau mondial est difficile à évaluer. Les données et les statistiques sont rares et ne sont disponibles que pour quelques études très spécifiques. Néanmoins, de telles études peuvent donner une idée du rôle des insectes comestibles dans divers systèmes alimentaires et offrent des perspectives sur les possibilités de développer ce secteur au niveau mondial.

Chez les peuples indigènes, la collecte des insectes peut représenter une tâche essentielle dans la recherche de nourriture (voir chapitre 3). Une étude conjointe du Centre pour la nutrition et l'environnement des peuples autochtones et de la FAO a évalué la valeur nutritionnelle et culturelle de divers aliments traditionnels de 12 communautés indigènes[11]

[11] Aïnou (Japon), Awajun (Pérou), Inuit de l'Île de Baffin (Canada), Bhil (Inde), Dalit (Inde), Gwich'in (Canada), Igbo (Nigéria), Ingano (Colombie), Karen (Thaïlande), Massaï (Kenya), Nuxalk (Canada) et Pohnpei (États fédérés de Micronésie).

de différentes parties du monde (voir le tableau 6.11) (Kuhnlein, Erasmus et Spigelski, 2009). Elle a démontré l'importance nutritionnelle significative des insectes pour la communauté Ingano de Colombie. Par exemple, les vers blancs (appelés larves mojojoy) de deux espèces de hannetons, qui sont toutes deux consommées dans la communauté Ingano, sont particulièrement riches en matières grasses. Les fourmis appelées hormigas, (Formicidae) sont aussi une grande source d'énergie et peuvent être récoltées tout au long de l'année. La communauté décrit les caractéristiques des insectes comme suit:

- **Hormigas** (fourmis, Formicidae). Elles sont nourrissantes, très populaires, améliorent la croissance, renforcent les défenses immunitaires et fournissent des protéines, des vitamines et des minéraux.
- **Mojojoy** (hannetons). Ils sont nourrissants, améliorent la croissance et agissent comme un médicament contre les affections pulmonaires, leurs matières grasses contribuent à prévenir les problèmes pulmonaires et ils fournissent des protéines, des vitamines et des minéraux.

Les invertébrés phyllophages et détritivores produisent des ressources alimentaires sous-estimées, fondamentales pour de nombreux groupes amérindiens. Dans le bassin amazonien, au moins 32 groupes amérindiens utilisent des invertébrés terrestres dans leur alimentation (Paoletti *et al.*, 2000). La consommation d'invertébrés fournit des quantités significatives de protéines animales (tableau 6.10), surtout pendant les périodes de vaches maigres, lorsque les poissons et le gibier se font rares. Les Guajibos, par exemple, qui vivent en lisière de la savane (à Alcabala, État d'Amazonas, République bolivarienne du Venezuela) dépendent principalement des insectes, en particulier des sauterelles et des larves du charançon des palmiers *Rhynchophorus palmarum*. Pendant la saison des pluies (juillet et août), plus de 60 pour cent des protéines animales qu'ils consomment proviennent des insectes. En sélectionnant ces petits invertébrés, les Amérindiens ont choisi leur alimentation d'origine animale parmi les chaînes alimentaires de la forêt tropicale humide qui ont le flux d'énergie le plus élevé et qui constituent le stock le plus important de nutriments renouvelables et directement accessibles. La consommation d'invertébrés phyllophages et détritivores par les populations habitant la forêt pour obtenir des protéines, des matières grasses et des vitamines ouvre de nouvelles perspectives de développement d'une production durable d'aliments d'origine animale.

TABLEAU 6.10
**Consommation annuelle d'invertébrés au village tukano d'Iapu (Rio Papuri, Vaupes, Colombie), 100 habitants**

| Nom | Poids frais moyen consommé (kg/an) | Pourcentage du nombre total d'invertébrés consommés |
|---|---|---|
| *Atta* spp.: Soldats et reines (trois espèces) | 24,7 | 29,3 |
| *Syntermes* spp.: Soldats (trois espèces) | 52,2 | 39,0 |
| Chenilles (cinq espèces) | 26,8 | 28,1 |
| Vespidae: Larves et nymphes (trois espèces) | 40,4 | 0,60 |
| Meliponinae: Larves et nymphes (une espèce) | 40,0 | 0,44 |
| *Rhynchophorus palmarum:* Larves | 4,2 | 1,7 |
| Coléoptères: Larves foreuses du bois vivant et mort (quatre espèces*) | 27,3 | 0,73 |

*Note:* * Quatre espèces (Scabaeidae, Buprestidae, Cerambycidae, Passalidae).
*Source:* Paoletti *et al.*, 2000.

Une étude du milieu du XX^e^ siècle dans le sud-ouest de la République démocratique du Congo a trouvé que les protéines animales provenaient du grand gibier, des grillons et des sauterelles pendant la saison sèche et pour une grande part des chenilles en saison des pluies (voir également le chapitre 2) (Adriaens, 1951). Des poissons, des rongeurs, des reptiles et diverses larves d'insectes sont consommés tout au long de l'année. La production

de chenilles séchées dans le district de Kwango entre 1954 et 1958 était estimée à près de 300 tonnes par an. En outre, dans six provinces de la République démocratique du Congo, les insectes représentent en moyenne 10 pour cent de l'apport quotidien de protéines animales (jusqu'à 15-22 pour cent dans les provinces de l'Ouest), avec les poissons et le gibier, les deux sources principales de protéines, qui en représentent respectivement 47 et 30 pour cent (Gomez, Halut et Collin, 1961). Plus récemment, il a été constaté que dans la ville de Kananga, dans le sud-ouest du pays, 28 pour cent des habitants consommaient en moyenne 2,4 kg d'insectes par mois, principalement des termites, des chenilles et des larves de coléoptères (Kitsa, 1989). Les larves de charançon du palmier et les soldats de termites (20 pour cent des espèces d'insectes comestibles) étaient les seuls à être disponibles sur les marchés tout au long de l'année, alors que les autres insectes, en particulier les chenilles et les termites ailés, n'étaient que saisonnièrement disponibles (de décembre à avril).

Les données sur la consommation d'aliments traditionnels indigènes sous-utilisés, d'origine animale ou végétale, récoltés dans la nature, sont cependant limitées et fragmentaires (FAO, 2010c). Alors que l'importance de la biodiversité alimentaire est de plus en plus reconnue, des recherches plus approfondies doivent être entreprises sur la consommation et la composition d'une grande variété d'aliments, y compris les insectes. Plus précisément des recherches sont nécessaires sur la composition nutritionnelle des insectes traditionnels, indigènes, sous-utilisés, récoltés dans la nature et plus généralement sur la biodiversité alimentaire, les données devant être compilées et accessibles dans des bases de données. À cette fin, un réseau international de données sur la biodiversité alimentaire a été créé en 2010 au sein du réseau INFOODS (voir Encadré 6.1).

TABLEAU 6.11
**Aliments traditionnels de quatre communautés autochtones autour du monde: les awajuns (Pérou), les inganos (Colombie), les karens (Thaïlande) et les igbos (Nigéria)**

| Insectes aliments traditionnels | Nom français | Nom local |
|---|---|---|
| Awajun (Pérou) | | |
| Coleoptera | Larves de charançons du palmier | Bukin |
| Hymenoptera (*Brachygastra* spp.) | Larves de guêpes | Eté téji |
| Hymenoptera (*Formicidae*) | Fourmi | Maya |
| Ingano (Colombie) | | |
| Hymenoptera (*Atta* spp.) | Fourmi coupeuse de feuilles | Hormiga arriera |
| Coleoptera | Coléoptères (larves de hanneton) | Mojojoy |
| Karen (Thaïlande) | | |
| Orthoptera: Gryllidae (*Gryllus bimaculatus*) | Grillon provençal | Xer-lai-zu-wa |
| Igbo (Nigeria) | | |
| Coleoptera | Coléoptères | Ebe |
| Isoptera: Termitidae (2 spp.) | Termites | Aku-mkpu, aku-mbe |
| Coleoptera: Curculionoidea (3 spp.) | Larves de charançons du palmier (palmier, raphia) | Akpa-nkwu, akpa-ngwo, nzam |
| Orthoptera: Gryllidae | Grillon | Abuzu |
| Orthoptera: Acrididae | Criquet | Wewe, igurube |

*Source:* Kuhnlein, Erasmus et Spigelski, 2009.

## 6.4 RÉGIMES ALIMENTAIRES DURABLES

Les régimes alimentaires durables sont des régimes alimentaires ayant de faibles conséquences sur l'environnement, qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi qu'à une vie saine pour les générations présentes et futures. Les régimes alimentaires durables contribuent à protéger et à respecter la biodiversité et les écosystèmes, sont culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables; nutritionnellement sûrs et sains et permettent d'optimiser les ressources naturelles et humaines (FAO, 2009b).

La nécessité de nourrir une population mondiale croissante pose inévitablement une pression constante sur la production agricole qui, à son tour, contribue davantage à la dégradation des ressources naturelles (FAO, 2009a). En outre, les difficultés apparaissant avec le changement climatique vont se combiner avec les problèmes actuels de production. Les activités en cours de la FAO sur les régimes alimentaires durables explorent les liens et les synergies entre la biodiversité alimentaire, la nutrition, la composition des aliments, la production alimentaire, l'agriculture, l'agriculture urbaine (le programme «Aliments pour les villes») et la durabilité. L'objectif sous-jacent est l'amélioration des aliments et de la sécurité alimentaire, ainsi que de proposer aux responsables politiques et aux consommateurs des recommandations plus respectueuses de l'environnement, y compris ce que signifie un système alimentaire écologiquement durable (FAO, 2009b). Les insectes comestibles conviennent parfaitement à un tel scénario écologiquement responsable (voir chapitre 5) et, de surcroît, doivent être considérés des candidats de premier ordre à la fois comme aliments de base et comme compléments alimentaires ainsi que, plus généralement, pour leur rôle dans les régimes alimentaires durables.

## 6.5 LES INSECTES COMESTIBLES DANS LES PROGRAMMES D'AIDE ALIMENTAIRE D'URGENCE

Selon le Comité permanent des Nations Unies sur la nutrition, le contributeur unique le plus important aux maladies est la malnutrition. Dans les situations d'urgence, les maladies contribuent souvent, ou sont souvent le résultat de la malnutrition. Ceci n'implique pas seulement de garantir la *quantité* d'aliments que les populations obtiennent, mais aussi la *qualité* de ces aliments. Des aliments en quantité insuffisante (ou excessive), de mauvais types de denrées alimentaires, et la réponse de l'organisme à une large gamme d'infections qui résulte de la malabsorption des nutriments ou de l'incapacité d'utiliser correctement les nutriments pour maintenir la santé, sont tous des facteurs qui influencent la malnutrition. D'un point de vue clinique, la malnutrition est caractérisée par une prise insuffisante ou excessive de protéines, d'énergie et de micronutriments tels que les vitamines. Cette définition inclut en outre les fréquentes infections et désordres qui résultent d'une alimentation inadéquate (WHO, 2013).

Dans les zones d'insécurité alimentaire – 70 pays dans le monde entier – des produits alimentaires mélangés enrichis (FBF) sont distribués aux populations les plus vulnérables. Les FBF sont des mélanges de céréales partiellement précuites et moulues, avec du soja, des haricots ou d'autres légumes secs, et enrichies de micronutriments. Certaines préparations spéciales peuvent contenir des huiles végétales ou du lait en poudre. Le mélange maïs-soja est le principal aliment composé distribué par le Programme alimentaire mondial des Nations Unies, bien que le mélange blé-soja soit également utilisé. Les FBF sont principalement conçus pour apporter des protéines et des suppléments en micronutriments dans les programmes d'assistance alimentaire. Ils sont aussi couramment utilisés dans les programmes du Programme alimentaire mondial, le Programme d'alimentation complémentaire et le Programme de santé de la mère et de l'enfant (Pérez-Expósito et Klein, 2009).

Le problème, cependant, est que les ingrédients principaux des FBF (comme le soja) ne font en général pas partie du régime traditionnel, ni, dans de nombreux pays, ne sont disponibles localement, ce qui les rend mal adaptés des points de vue nutritionnels, sociaux et écologiques, particulièrement dans le cadre des régimes alimentaires durables (FAO, 2010b). Considérant la teneur en protéines et en micronutriments de nombreux insectes comestibles, leur impact écologique minimal, leur disponibilité et surtout leur acceptation culturelle dans une grande majorité des pays en développement où l'insécurité alimentaire est le problème principal, leur utilisation dans les FBF mérite d'être envisagée.

ENCADRÉ 6.6

**Le projet Winfood: Réduire la malnutrition infantile par une meilleure utilisation des aliments traditionnels**

Winfood, un projet financé par le Comité consultatif de la recherche pour le développement et le Danida au Danemark, vise à développer des aliments améliorés nutritionnellement pour nourrissons et jeunes enfants, en augmentant l'utilisation des aliments traditionnels. Les légumes agricoles, les fruits et les produits d'animaux d'élevage sont nutritifs mais chers, et leur consommation est limitée dans ce groupe cible. Un régime déséquilibré avec trop peu d'aliments autres que les aliments de base, conduit, de plus, à une prise inadéquate de fer, de zinc et de vitamine A en particulier et c'est la cause majeure de la malnutrition infantile. L'idée du projet Winfood est de lutter contre la malnutrition infantile en mettant l'accent sur les systèmes alimentaires traditionnels basés sur des aliments issus de plantes et d'animaux récoltés dans la nature ou semi-domestiqués (comme les fruits, les racines, les petits poissons, les escargots, les grenouilles et les insectes) et sur les techniques traditionnelles de transformation comme la fermentation, la germination et la macération des aliments de base et des autres aliments.

Le concept Winfood est développé grâce à des études parallèles au Cambodge et au Kenya, deux pays dont les cadres culturels et écologiques sont très différents. Sur la base des résultats, des directives générales pour une stratégie Winfood seront développées pour sa mise en œuvre au niveau familial ou à celui de petites et moyennes entreprises locales.

Les insectes comestibles – qui sont des aliments locaux traditionnels aussi bien au Cambodge qu'au Kenya – jouent un rôle majeur car ils sont disponibles localement et ils sont une source importante de zinc et de fer. Pour cette raison, deux produits Winfood ont été développés:

- Winfood Cambodge, qui contient entre autres du riz, du poisson et des araignées (*Haplopelma albostriatum*);
- Winfood Kenya, qui comprend typiquement des graines d'amarante, du maïs, du poisson et des termites (*Macrotermes subhyalinus*).

Alors que les résultats sont prometteurs, le manque de normes alimentaires pour les insectes comestibles reste un obstacle majeur pour le développement ultérieur (voir chapitres 10 et 14).

*Source:* N. Roos, communication personnelle, 2012.


ARNOLD VAN HUIS

*Fourmis tisserandes*


WIKIMEDIA

*Cochenilles sur figuier de Barbarie (Opuntia), La Palma, Îles Canaries*




*Un essaim dense de criquets observé lors d'opérations de pulvérisation, Madagascar*




*Termitière*




*Récolte de larves et nymphes de fourmis tisserandes, Laos*



ARNOLD VAN HUIS

*Piégeage des grillons, Laos*



PAUL VANTOMME

*Séparation des vers de farine et de la balle, Pays-Bas*



HARMKE KLUNDER

*Femme récoltant des sauterelles, Laos*


LAUREN HEATON

*Confection d'aliments pour l'aquaculture à partir d'asticots de mouches soldats noires*


MARCUS HARRISON

*Punaises pour la dégustation*



FAO/PATRICK DURST

*Foreuses du bambou cuisinées et préparées pour la vente sur le marché local de Chiang Mai, Thaïlande*



BENJAMIN HARINK

*Intérieur d'une boutique japonaise de vente d'insectes ornementaux*




DAWN STARIN

*Divers insectes vendus comme aliments dans la rue à Bangkok, Thaïlande*



FRANK SHULZ

*Vendeuse de chapulines à Oaxaxa, Mexique*




DAVID SKINNER

*Boîte ancienne de fourmis enrobées de chocolat, USA*



FAO/GIULIO NAPOLITANO

*Vente de chenilles à Kinshasa, République démocratique du Congo*



AFTON HALLORAN

*Vente d'insectes à déguster et de bonbons, Canada*


MICHAEL FULLER

*Vente de scorpions, Chine*



AGRIPROTEIN

*Essais d'alimentation à l'aide de Magmeal (maggot meal) préparé à partir d'asticots de mouche domestique*



JOSH EVANS

*Yaourt et granola, tous deux à base de larves d'abeille, Nordic Food Lab, Copenhague*

# 7. Les insectes dans l'alimentation animale

## 7.1 GÉNÉRALITÉS

En 2011, la production mondiale combinée d'aliments pour animaux était estimée à 870 millions de tonnes, avec un revenu généré par la fabrication et la commercialisation au niveau mondial, d'approximativement 350 milliards de dollars des États-Unis. La FAO estime que la production devra augmenter de 70 pour cent pour pouvoir nourrir le monde en 2050 avec un doublement attendu de la production de viande (volaille, porc et bœuf) (IFIF, 2012). Malgré cela, les opportunités que représentent les insectes comme aliments pour les animaux ont été rarement évoquées (Encadré 7.1). Actuellement, les ingrédients composant les aliments pour l'élevage et la pisciculture comprennent les farines de poisson, les huiles de poisson, du soja et diverses céréales.

ENCADRÉ 7.1

**La Fédération internationale des industries de l'alimentation animale et la FAO: à la recherche de nouvelles protéines sûres**

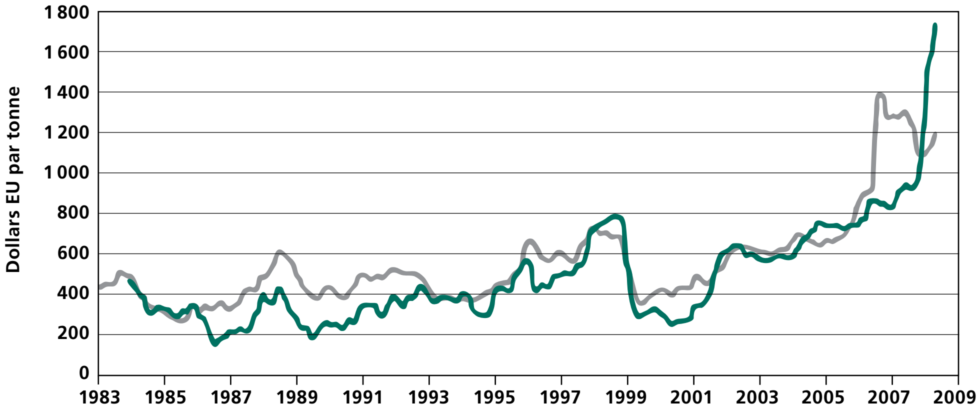
La Fédération internationale des industries de l'alimentation animale (IFIF) est une organisation mondiale mandatée pour jouer le rôle de coordination dans la promotion de la fourniture durable d'aliments sûrs et sains pour les animaux par l'industrie mondiale de l'alimentation animale. Son rôle est fondamental dans les pays en développement, particulièrement lorsque les secteurs nationaux et les associations nationales de l'alimentation animale sont faibles ou inexistants. À la fin des années 90, l'IFIF a obtenu le statut d'Organisation non gouvernementale (ONG) du *Codex Alimentarius*, première étape vers l'amélioration des méthodes des gouvernements pour reglementer l'industrie. En même temps, l'IFIF a commencé à développer une étroite relation de travail avec la FAO. La participation de l'IFIF aux réunions du Codex Alimentarius et de la FAO lui a permis d'être en mesure de suivre le développement et l'harmonisation des codes internationaux, des normes et des pratiques qui concernent les fabricants mondiaux d'aliments pour animaux. En particulier, l'IFIF a élaboré pour le Codex Alimentarius, le *Code d'usages pour une bonne alimentation animale*; elle a participé au groupe de travail électronique du Codex Alimentarius sur l'alimentation animale; elle a soutenu la Consultation FAO d'experts sur les sources de protéines pour l'industrie des aliments pour animaux; et elle a développé le Congrès conjoint bisannuel mondial de l'alimentation animale et humaine. De plus, avec la FAO, l'IFIF a élaboré le manuel des *Bonnes pratiques pour l'industrie de l'alimentation animale* et a mis en place un point de rencontre pour les associations et les régulateurs de l'alimentation animale lors des réunions annuelles internationales de ceux-ci. L'IFIF est convaincue que de bonnes avancées technologiques et scientifiques feront la différence pour assurer la sécurité, l'abondance et l'accessibilité des aliments pour tous.

Une contrainte majeure au développement ultérieur des aliments pour animaux est leur coût prohibitif, notamment celui des farines de viande, de poisson et de soja, qui représentent 60-70 pour cent des coûts de production. Un autre problème est représenté par l'élimination du fumier qui devient un problème environnemental; il n'est pas rare

que de grandes quantités de fumier soient accumulées en tas en plein air, pullulants de mouches.

Les prix des farines de poisson augmentent (Figure 7.1). La demande croissante en 2010 et 2011 a fait monter les prix en flèche et, bien que la demande se soit ralentie à la fin de 2011 et au début de 2012, les prix sont restés élevés. Pour les petits éleveurs, cela veut dire que les farines de poisson deviennent moins accessibles. En même temps, l'aquaculture est le secteur le plus rapide pour produire des aliments pour animaux et devra durablement s'accroître pour répondre à la demande croissante de poisson.

FIGURE 7.1
**Prix de gros international des huiles et farines de poisson, CAF Hambourg**




*Note:* Les prix sont des moyennes mensuelles, 64%/65% de protéines brutes, de toutes origines.
*Source:* Tacon et Metian, 2008.

Actuellement, environ 10 pour cent de la production mondiale de poisson sont transformés en farines de poisson (c.-à-d. soit de poissons entiers ou de déchets de poisson résultant de leur transformation) et sont utilisés principalement dans l'aquaculture (FAO, 2012b). L'Amérique du Sud est le plus grand producteur de farines de poisson grâce aux captures d'anchois qui y sont faites. Les prises d'anchois sont très variables car elles dépendent du cycle climatique El Niño. La production (capture) d'anchois a culminé à 12,5 millions de tonnes en 1994 mais a ensuite diminué jusqu'à 4,2 millions de tonnes en 2010 et on s'attend à ce qu'elle diminue encore.

ENCADRÉ 7.2
**Usages non alimentaires du poisson**

Les quantités de poissons capturés à des fins non alimentaires ont augmenté entre 1976 et 1994. Cependant, depuis, elles ont décliné de 34 pour cent du total des prises en 1995 à environ 26 pour cent en 2009 et, en conséquence, les quantités totales destinées aux farines et aux huiles de poisson ont également décliné (d'environ 30 pour cent à 20 pour cent). En 2008, l'aquaculture a utilisé 61 pour cent de la production mondiale de farines de poisson et 74 pour cent de la production d'huiles de poisson. Toutefois, l'utilisation de la farine de poisson dans les aliments pour poisson a chuté de 19 pour cent en 2005 à 13 pour cent en 2008, et on s'attend à ce qu'elle décroisse jusqu'à 5 pour cent vers 2020.

Le marché des insectes est similaire à celui des farines de poisson; les insectes sont employés comme aliments pour animaux en aquaculture et dans l'élevage ainsi que

dans le secteur des animaux de compagnie. Les fortes demandes récentes en farines de poisson et les prix élevés qui en résultent, ainsi qu'une pression croissante sur la production aquacole, ont conduit la recherche à développer l'utilisation de protéines d'insecte dans l'aquaculture et l'élevage (éventuellement en complément aux farines de poisson). Pendant ce temps, l'aquaculture se développe alors que l'utilisation des farines de poisson diminue rapidement dans l'alimentation des animaux (Encadré 7.2) en raison des quantités déclinantes des prises des pêcheries industrielles dues aux quotas plus sévères et aux contrôles accrus à l'encontre de la pêche illicite; en raison également du remplacement accru dans les aliments pour animaux, des farines de poisson par des substituts plus rentables (FAO, 2012b). La recherche de protéines alternatives durables est un sujet d'importance majeure qui nécessite des solutions valables à court terme, ce qui fait des insectes une option de plus en plus intéressante pour l'alimentation animale.

## 7.2 POISSONS ET VOLAILLES NOURRIS AVEC DES INSECTES

Les insectes constituent l'alimentation naturelle de nombreux poissons et de nombreuses volailles. Les poulets, par exemple, peuvent être observés picorant des vers et des larves dans les premiers centimètres du sol et la litière, tout en marchant. Ce n'est pas pour rien, que les asticots sont utilisés comme appâts pour les poissons dans la pêche de loisir. Étant donné le rôle naturel des insectes comme aliment pour de nombreuses espèces d'élevage, leur utilisation vaut la peine d'être reconsidérée dans l'alimentation de certaines espèces de poissons et de volailles (Encadré 7.3).

ENCADRÉ 7.3

**Quels sont les insectes utilisés en alimentation animale?**

Le système d'information de la FAO sur les ressources alimentaires pour les animaux (maintenant appelé «Feedipedia») fournit des informations sur l'utilisation des insectes comme aliment pour le bétail et les poissons, y compris des insectes comme le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*), les asticots de la mouche domestique (*Musca domestica*) et le ver à soie (*Bombyx mori*). Des informations sur la ressource, la transformation des aliments, les directives pour l'alimentation des animaux, les expériences de nourrissage et les caractéristiques des nutriments sont disponibles sous la catégorie «produits d'origine animale».

Cependant, de nombreuses autres espèces d'insectes pourraient convenir pour une production industrielle d'aliments pour animaux, telles que les coléoptères, qui sont actuellement déjà élevés dans un but ornemental par les collectionneurs (voir chapitre 2).

### 7.2.1 Volailles

Pendant ces deux dernières décennies, la filière avicole s'est développée rapidement dans les pays en développement. Les sauterelles, les grillons, les cafards, les termites, les poux, les punaises, les cigales, les pucerons, les cochenilles, les psylles, les coléoptères, les chenilles, les mouches, les puces, les abeilles, les guêpes et les fourmis ont tous été utilisés comme compléments alimentaires pour la volaille (Ravindran et Blair, 1993). Dans les pays en développement, les protéines animales et végétales procurent des acides aminés (p. ex. lysine, méthionine et cystine) aux aliments pour l'aviculture. Les aliments pour animaux riches en protéines animales sont généralement préparés à partir de poissons et de viandes importées ou de farines de sang, alors que les protéines végétales proviennent de tourteaux et de graines de légumineuses importés. L'utilisation de termites a été signalée dans l'alimentation des poulets et des pintades au Togo et au Burkina Faso (voir la section 2.3) (Iroko, 1982; Farina, Demey et Hardouin, 1991).

La chitine, un polysaccharide constituant de l'exosquelette des insectes, peut avoir un effet positif sur le fonctionnement du système immunitaire (voir la section 10.3). En

nourrissant les poulets avec des insectes, l'utilisation d'antibiotiques par la filière avicole pourrait être diminuée. Cette utilisation d'antibiotiques pourrait conduire à des infections chez l'homme par des souches bactériennes résistantes aux antibiotiques (Encadré 7.4).

ENCADRÉ 7.4

**La consommation de poulets peut conduire à une infection humaine par des lignées bactériennes BLSE hautement résistantes aux antibiotiques**

Aux Pays-Bas, des cas de malades souffrant de sérieuses infections urinaires ou sanguines ont été étudiés. Un cinquième des patients était infecté par une bactérie BLSE (productrices de bêta-lactamase à spectre étendu) génétiquement identique à une bactérie trouvée chez le poulet. Les lignées bactériennes BLSE produisent des enzymes qui les rendent résistantes aux antibiotiques tels que la pénicilline et les céphalosporines. Deux bactéries – *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae* – produisent très couramment des enzymes BLSE. Environ 35 pour cent des prélèvements chez l'homme contenaient des gènes associés aux BLSE de la volaille. L'utilisation d'antibiotiques par la filière avicole hollandaise est plus importante que par celles de tout autre pays européen; en conséquence, la fréquence correspondante des BSLE est élevée. L'étude a également révélé que pratiquement tous les poulets (94 pour cent) dans les supermarchés et dans les élevages hollandais sont infectés par des bactéries BLSE, probablement en raison de l'utilisation courante d'antibiotiques dans leur alimentation. Des travaux de recherche sont nécessaires pour vérifier si l'alimentation des poulets avec des insectes (contenant de la chitine) renforcera le système immunitaire et rendra superflue l'utilisation d'antibiotiques.

*Source:* van Hall *et al.*, 2011.

Ravindran et Blair (1993) ont mentionné l'utilisation dans les aliments pour volaille de mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) élevées sur fumier et de pupes de mouches domestiques (*Musca domestica*) en remplacement de la farine de soja. De même, des études ont montré comment les chrysalides de ver à soie – sous-produit de l'industrie de la soie – peuvent remplacer totalement la farine de poisson dans les aliments pour poules pondeuses (c.-à-d. pour la production d'œufs) et en complément (50 pour cent) dans les aliments pour poulets. La sauterelle mormone (*Anabrus simplex*) et d'autres sauterelles peuvent aussi remplacer en totalité les farines de poisson et de soja.

Dans le Sud-Kivu, en République démocratique du Congo, Munyuli Bin Mushambanyi et Balezi (2002) ont étudié la possibilité de remplacer les farines de viande très onéreuses – qui constituent 20 pour cent des ingrédients dans les aliments pour la volaille – par des farines obtenues à partir de cafards (*Blatta orientalis*) et de termites (*Kalotermes flavicollis*). Leur étude a montré que la farine obtenue de ces insectes pouvait remplacer la farine de viande dans la composition des aliments. Ramos Elorduy *et al.* (2002) ont réalisé des expériences similaires avec des vers de farine (*Tenebrio molitor*), en les élevant sur des détritus peu nutritifs et en les donnant à des poulets de chair. Les vers de farine ont été capables de transformer ces détritus peu nutritifs en un aliment riche en protéines, faisant de *T. molitor* une source prometteuse de protéines alternatives, particulièrement en remplacement de la farine de soja dans les aliments pour volaille. Des résultats semblables ont été obtenus par des expériences avec *Anabrus simplex*, *Acheta domesticus*, *Bombyx mori*, *Alphitobius diaperinus*, *Tribolium castaneum* et avec des termites (Ramos Elorduy *et al.*, 2002).

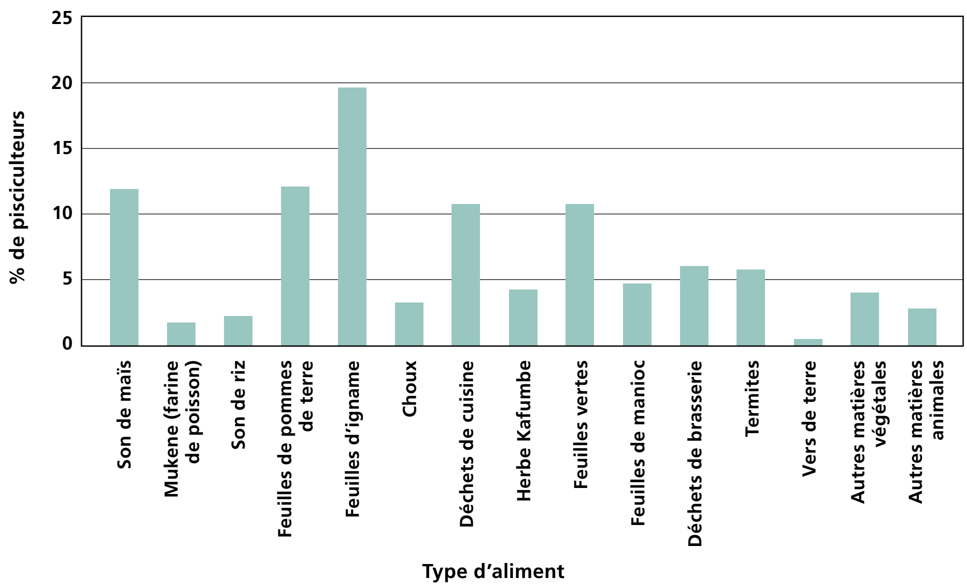
En Inde, la filière avicole est l'une des activités agro-industrielles qui connaissent les plus fortes croissances, mais l'utilisation comme ingrédient alimentaire de maïs dont le prix est élevé, menace la survie des éleveurs. L'alimentation de la volaille avec les résidus

de la sériciculture, qui jusqu'à présent n'ont été utilisés que pour la production de biogaz et de compost, a montré de meilleurs taux de conversion que ceux obtenus en utilisant des aliments conventionnels pour animaux (Krishnan *et al.*, 2011).

### 7.2.2 Poissons

L'utilisation des insectes comme aliments pour la pisciculture est sous-estimée dans la plupart des régions du monde. En Ouganda, une grande diversité d'ingrédients est utilisée pour nourrir les poissons, dont des légumes, de l'herbe, des céréales, du son, des tourteaux, des déchets industriels ou de cuisine et des farines de poisson ainsi que des insectes (Figure 7.2). La disponibilité de la plupart de ces ingrédients est saisonnière (Rutaisire, 2007). Cinq pour cent des pisciculteurs nourrissent leurs poissons avec des termites – soit en récoltant eux-mêmes directement les termites, soit en les achetant à des récolteurs au prix de 0,27 dollar EU/kg – de mars à avril et d'août à septembre. Les quantités disponibles dépendent largement du nombre et de la taille des termitières sur l'exploitation agricole, de l'intensité de la lumière de la lune et de l'espèce considérée de termite. En moyenne, une termitière produit approximativement 50 kg de termites par an. En Asie du Sud-Est, il est commun de suspendre des lampes fluorescentes au-dessus des étangs piscicoles. La lumière attire les insectes, qui, du fait de la réfection de la lumière dans l'eau, tombent dans l'étang, où ils sont mangés par les poissons. Les sauterelles sans ailes et les grillons (qui ne flottent pas) sont aussi utilisés comme appâts, de même que les œufs et les nymphes de fourmis (p. ex. *Oecophylla smaragdina* en République démocratique populaire lao) (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012).

FIGURE 7.2
**Utilisation proportionnelle des différents aliments par les pisciculteurs ougandais**




*Source:* Rutaisire, 2007.

## 7.3 PRINCIPALES ESPÈCES D'INSECTES UTILISÉES DANS L'ALIMENTATION ANIMALE

Parmi les espèces les plus prometteuses pour la production d'aliments pour les animaux, il faut citer les mouches soldat noires, les asticots de la mouche domestique, les vers à soie et les vers de farine. Les sauterelles et les termites sont aussi prometteurs, mais dans une moindre mesure. Jusqu'à présent, ces espèces ont été les plus étudiées et sont les plus citées dans la littérature.

### 7.3.1 Les mouches soldat noires

Les mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) sont abondantes et se trouvent naturellement près des tas de fumier des élevages de volailles, de porcs et de bovins. Pour cette raison, dans les pays anglophones, elles sont appelées «latrine larvae» (asticots des latrines). Les asticots pullulent en populations très denses sur les déchets organiques tels que les résidus du dépulpage des cerises du café, les légumes, les drêches de distilleries, les restes de poisson (sous-produits de la préparation des poissons). Ils peuvent être utilisés commercialement pour résoudre de nombreux problèmes environnementaux liés aux fumiers et à d'autres déchets organiques comme la réduction du volume de fumier, le taux d'humidité et les odeurs nauséabondes. Parallèlement, ils produisent du matériel alimentaire de grande valeur pour le bétail, les porcs, les volailles et les poissons (Newton *et al.*, 2005). De plus, la mouche soldat noire adulte n'est attirée ni par les habitations humaines ni par la nourriture, et pour cette raison elle n'est pas considérée comme une nuisance. Les hautes teneurs en matières grasses brutes des mouches soldat noires permettent de les convertir en biodiésel: 1 000 asticots se nourrissant sur 1 kg de fumier de bovin, de porc ou de poulet produisent respectivement 36 g, 58 g et 91 g de biodiésel (Li *et al.*, 2011). Les possibilités de récupération de la chitine après séparation de l'huile sont aussi étudiées (voir la section 9.1).

***Réduction des populations de mouches domestiques***

De nombreux problèmes environnementaux liés au stockage et à la gestion du fumier peuvent être résolus en produisant des prépupes de mouche soldat noire. Sheppard *el al.* (1994) ont étudié comment la colonisation du fumier de volailles et de porcs par la mouche soldat noire pouvait réduire les populations de mouche domestique (*Musca domestica*) de 94-100 pour cent. Les mouches soldat noires rendent également le fumier plus liquide, de ce fait moins adapté aux asticots de la mouche domestique et on pense que leur présence inhibe la ponte des mouches domestiques (Sheppard, 1983). Bien qu'elles soient généralement considérées comme une nuisance, les mouches domestiques peuvent aussi être élevées pour nourrir les animaux et les poissons.

***Réduction des contaminations par le fumier***

Les asticots de mouche soldat noire sont capables de convertir les protéines résiduelles et les autres nutriments du fumier en une biomasse plus intéressante (p. ex. des aliments pour animaux). De cette façon, ils réduisent les concentrations en nutriments et le volume des résidus de fumier. Les asticots de mouche soldat noire récoltés, transformés et estimés à approximativement 200 dollars EU la tonne, sont économiquement plus transportables que le fumier (évalué à 10-20 dollars EU la tonne) (Tomberlin et Sheppard, 2001). Dans les élevages de bovins confinés (stabulation), les asticots réduisent le phosphore de 61-70 pour cent et l'azote de 30-50 pour cent (Sheppard, Newton et Burtle, 2008). Dans un essai de terrain réalisé en Géorgie, aux États-Unis, la digestion du fumier de porc par des asticots de mouche soldat noire a réduit l'azote de 71 pour cent, le phosphore de 52 pour cent, le potassium de 52 pour cent et l'aluminium, le bore, le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le magnésium, le manganèse, le molybdène, le nickel, le sodium, le soufre et le zinc de 38 à 93 pour cent. Ainsi, les asticots sont capables de réduire le potentiel de pollution de 50-70 pour cent ou plus. Les odeurs nauséabondes produites par le fumier en décomposition sont aussi réduites ou éliminées par les asticots de mouche soldat noire. C'est parce que l'espèce aère et assèche le fumier qu'elle réduit les odeurs. De plus, les asticots modifient la microflore du fumier, réduisant les bactéries potentiellement nuisibles (Erickson *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2008). Par exemple, l'activité des asticots réduit significativement *Escherichia coli* 0157:H7 et *Salmonella enterica* dans les fientes de poule (Erickson *et al.*, 2004). Sheppard, Newton et Burtle (2008) ont suggéré que les asticots de mouche soldat noire contiennent des antibiotiques naturels similaires à ceux des asticots de la mouche verte (*Lucilia sericata*) utilisée dans

la détersion par asticothérapie, c'est-à-dire le nettoyage des plaies par des asticots, une méthode de plus en plus pratiquée en raison de la fréquence des infections bactériennes pharmaco-résistantes (Sherman et Wyle, 1996).

ENCADRÉ 7.5

**Accroître la durabilité de la production de crevettes d'eau douce en Ohio**

L'élevage des crevettes d'eau douce est de plus en plus répandu dans de nombreuses régions tempérées des États-Unis. Les crevettes d'eau douce constituent un grand potentiel de diversification pour les fermes aquacoles de l'Ohio. Durant la dernière décennie, l'intérêt pour cette production s'est accru en raison d'une demande croissante pour les produits locaux, du souhait des consommateurs de connaître où et comment sont produits les aliments qui leur sont proposés, de l'exceptionnalité du produit et des gains de productivité des élevages de crevettes grâce à de nouvelles techniques de gestion et de production.

L'alimentation est le deuxième facteur de constitution des coûts variables de production (le premier facteur étant l'achat des larves de crevette). Traditionnellement, la plupart des éleveurs de crevette utilisent des aliments plongeants pour poisson-chat. Avec l'augmentation des prix de ces aliments à base de farine de poisson, de nombreux nutritionnistes animaliers sont à la recherche de sources alternatives de protéines à incorporer à la composition d'aliments pour l'aquaculture. Une de ces sources est constituée par les asticots de mouche soldat noire et leurs excréments. Pour la première fois aux États-Unis, les asticots de mouche soldat noire sont élevés à échelle commerciale, à Yellow Springs dans l'Ohio, par une compagnie appelée Enviroflight (voir page 123), où les premiers régimes alimentaires pour crevettes, incorporant des excréments de mouche soldat noire et des remoulages de blé, ont été produits.

La seule différence notable était que les crevettes nourries au régime Enviroflight étaient légèrement plus pâles en apparence que celles nourries avec le régime alimentaire traditionnel. Des goûteurs de crevettes expérimentés ne détectèrent aucune différence de goût entre les deux produits. L'utilisation d'un aliment aquacole produit localement a de nombreux avantages pour les pisciculteurs élevant d'autres espèces de poissons. Premièrement, le coût de l'aliment produit localement est inférieur à celui des autres aliments disponibles dans le commerce. Ceci contribue à l'efficacité économique des opérations, surtout si l'on considère qu'il est prévu que le prix des farines de poisson continue à croître. Étant donné que l'aliment est produit dans l'Ohio, un faible coût écologique de transport (km équivalent $CO_2$) peut être imputé à sa production et à sa distribution. De plus, nourrir les crevettes avec un aliment sans farine de poisson peut ouvrir de nouveaux marchés aux pisciculteurs, car certains consommateurs refusent l'utilisation de farines de poisson dans les aliments piscicoles. Finalement, étant donné que les asticots de mouche soldat noire se nourrissent de drêches sèches de distilleries, la production de ce produit contribue en réalité à la réutilisation efficace de déchets/sous-produits d'une autre industrie de l'Ohio. Le recyclage des nutriments augmente la durabilité globale du projet.

*Source:* Tiu, 2012.

### *Les mouches soldat noires dans l'alimentation des animaux*

L'utilisation de prépupes de mouche soldat noire comme aliment pour les animaux devrait être sérieusement envisagée, ne fût-ce qu'en raison de leur faible impact environnemental (Newton *et al.*, 1977; Sheppard *et al.*, 1994) (Encadré 7.5). Les prépupes déshydratées de mouche soldat noire contiennent 42 pour cent de protéines et 35 pour cent de matières grasses (sur la matière sèche) (Newton *et al.*, 1977). Les prépupes vivantes sont constituées de 44 pour cent de matière sèche et peuvent être facilement entreposées pendant de

longues périodes. Comme composant d'un régime complet, elles soutiennent une bonne croissance des poulets (Hale, 1973), des porcs (Newton *et al.*, 1977), des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (St-Hilaire *et al.*, 2007), des barbues de rivière (*Ictalurus punctatus*) (Pimentel *et al.*, 2004) et des tilapias bleus (*Oreochromis aureus*) (Sheppard *et al.*, 2008). Dans le cas de la truite arc-en-ciel, les asticots peuvent remplacer 25 pour cent de la farine de poisson et 38 pour cent de l'huile de poisson utilisés. En plus de donner des insectes à manger aux poissons, les insectes peuvent se nourrir de poisson. Parmi les déchets organiques les abats de poisson (entrailles, etc.) peuvent nourrir les asticots. Comparés aux asticots élevés sur le fumier, les teneurs en lipides ont été augmentées de 30 pour cent et les acides gras oméga-3 de 3 pour cent; ces deux accroissements sont intervenus dans les 24 heures (St-Hilaire *et al.*, 2007).

### 7.3.2 Les asticots de mouche domestique

Les asticots – les larves de la mouche domestique (*Musca domestica*) – se développent principalement en milieu tropical. Les asticots sont une importante source de protéines animales pour la volaille: ils ont une teneur en matière sèche de 30 pour cent de leur masse totale humide, dont 54 pour cent sont des protéines brutes. Les asticots peuvent être proposés frais, mais pour l'élevage intensif, ils sont plus pratiques sous forme de produit sec, pour le stockage et le transport. Des études ont montré que la farine d'asticot pouvait remplacer la farine de poisson dans l'élevage des poulets de chair (Téguia *et al.*, 2002; Hwangbo *et al.*, 2009). Parallèlement, la production d'asticots peut contribuer à diminuer l'accumulation de fumier.

En Afrique rurale, les asticots sont un aliment naturel pour les volailles picorant les déchets. Au Nigéria, par exemple, la production d'asticots pourrait fournir une excellente source de protéines animales pour les élevages locaux de volaille. Les asticots sont déjà donnés vivants aux poulets au Togo (Ekoue et Hadzi, 2000); Hwangbo *et al.*, 2009), et au Cameroun (Téguia, Mpoame et Okourou, 2002). En Corée du Sud, Hwangbo *et al.* (2009) ont étudié la contribution des asticots à la qualité de la viande et aux performances de croissance des poulets de chair. Au Nigéria, Awonyi, Adetuyi et Akinyosoye (2004) ont étudié le remplacement des farines de poisson par de la farine d'asticot et ont trouvé que les régimes dans lesquels 25 pour cent de la farine de poisson étaient remplacés par de la farine d'asticot, étaient plus efficaces en termes de gain pondéral hebdomadaire moyen et de taux d'efficacité des protéines. À neuf semaines, le poids de poulets vivants, apprêtés et éviscérés, de même que les longueurs, largeurs et poids relatifs des muscles pectoraux et gastrocnémiens n'étaient pas significativement affectés par ce remplacement par de la farine d'asticot. Cette étude a conclu que la farine d'asticot est un substitut partiel à la farine de poisson, bon marché, pour l'alimentation des poulets de chair.

L'inclusion de farine d'asticot dans les régimes alimentaires du bétail soulève cependant des questions car tout le monde sait que, sous sa forme adulte, *Musca domestica* est largement impliquée dans la transmission de maladies. L'asticot se développe sur les immondices et le fumier pourrissants; pour cette raison, l'inclusion de farines d'asticot dans les régimes alimentaires pour le bétail soulève des questions sur les risques bactériologiques et fongiques. Au Nigéria, Awoniyi, Adetuyi et Akinyosoye (2004) ont analysé des échantillons d'asticots de mouche domestiques moulus et séchés, frais ou stockés pendant neuf mois, à la recherche de microbes pour déterminer s'ils conviennent pour leur inclusion dans les aliments pour le bétail. Leur conclusion principale fut que la farine d'asticot stockée était susceptible d'être dégradée par des champignons et des bactéries si leur taux d'humidité est trop élevé (dans leur étude 23 pour cent, alors que la limite était 12 pour cent). Ils ont recommandé un séchage jusqu'à 4-5 pour cent d'humidité pour minimiser l'activité bactérienne. Après transformation, la protection contre la ré-humidification peut être obtenue par ensachage étanche (avec des sacs en cellophane ou en nylon) et fermeture thermosoudée.

### 7.3.3 Les termites

Les termites capturés dans la nature peuvent être utilisés pour pêcher des poissons et piéger des oiseaux. Silow (1983) a signalé en Zambie l'utilisation de termites à rostre (*Trinervitermes* spp.) comme appât pour les poissons dans des nasses coniques en roseau et aussi pour appâter les oiseaux insectivores (tels que les pintades, les francolins, les cailles et les grives). Les oiseaux étaient capturés par un collet installé autour du sommet percé d'une termitière où les soldats des termites s'amassent pendant des heures. Cependant, l'élevage des termites est très difficile et ne devrait pas être recommandé, en gardant aussi à l'esprit leurs fortes émissions de méthane (Hackstein et Stumm, 1994).

### 7.3.4 Les vers à soie

Dans la plupart des pays en développement, la production animale est limitée par la rareté et le prix des farines de poisson dans la composition des aliments pour animaux. Bien que la sériciculture produise de grandes quantités de chrysalides, les recherches sur les farines de chenilles de ver à soie, comme ingrédient d'aliments pour animaux, sont rares. Au Nigéria, Ijaiya et Eko (2009) ont étudié la possibilité de substituer les farines de poisson (suivant les proportions de 25, 50, 75 et 100 pour cent) par des farines de chenilles de ver à soie (processionnaire du Kudu Berry *Anaphe panda*) et ses effets sur la croissance, sur l'hématologie des carcasses et sur l'économie de production des poulets de chair. Ils ont trouvé que les performances de croissance des poulets n'étaient pas affectées par l'incorporation de farines de chenilles de ver à soie. Il n'y avait pas de différence significative dans les performances en termes d'ingestion des aliments, de gain de masse corporelle, d'efficacité de conversion des aliments, ou de coefficient d'efficacité protéique entre les différents régimes alimentaires étudiés. Les farines de chenilles de ver à soie se sont révélées moins chères que les farines de poisson conventionnelles, ce qui en fait un substitut économiquement intéressant.

### 7.3.5 Les vers de farine

Les vers de farine (comme *Tenebrio molitor*) sont déjà élevés à l'échelle industrielle. Ils peuvent être élevés sur des déchets de faible valeur nutritive et donnés comme nourriture à des poulets de chair. Ramos Elorduy *et al.* (2002) ont élevé des larves de *T. molitor* sur plusieurs déchets secs de diverses origines. Ils ont testé trois concentrations de larves (0, 5 et 10 pour cent en poids sec) dans un aliment de base à 19 pour cent de protéines constitué d'un mélange de farines de sorgho et de soja, pour évaluer l'ingestion des aliments, les gains de poids et l'efficacité des aliments. Après 15 jours, il n'y avait pas de différence significative entre les traitements. Les vers de farine sont une alternative prometteuse aux sources conventionnelles de protéines, particulièrement aux farines de soja.

### 7.3.6 Les sauterelles en Inde

En Inde, des recherches ont été entreprises sur l'utilisation des sauterelles comme aliments pour les animaux de ferme. Car les aliments conventionnels pour animaux représentent 60 pour cent du coût total de l'élevage des animaux de ferme, et aussi parce qu'il y a pénurie de produits alimentaires tels que le maïs et le soja, provoquée par une compétition entre hommes et bétail pour ces ressources. De plus, la récolte de la ressource alimentaire que représentent ces acridiens sur les terres cultivées et dans les prairies devrait permettre de réduire l'utilisation de pesticides dangereux pour leur control. Quatre espèces d'acridiens ont été étudiées pour leur valeur nutritionnelle: *Oxya fuscovittata*, *Acridia exaltata*, *Hieroglyphus banian* et *Spathosternum prasiniferum prasiniferum* (Anand, Ganguly et Haldar, 2008). L'étude a montré que les acridiens ont une teneur en protéines plus élevée que les farines de poisson et de soja conventionnelles disponibles localement.

*Élevage et production de masse*

L'utilisation des acridiens pour l'alimentation des animaux requiert une énorme biomasse, qui peut être obtenue par une production de masse dans des fermes d'élevage des insectes. Das, Ganguly et Haddar (2009) ont étudié l'espace requis pour l'élevage de masse de *Oxya fuscovittata* et de *Spathosternum prasiniferum prasiniferum*. L'utilisation de jarres d'un volume de 2 500 $cm^3$ et des densités de 10 000 insectes par mètre cube pour *O. fuscovittata* et de 7 100 insectes par mètre cube pour *S. pr. prasiniferum* ont abouti à des mortalités respectives de 12 et de 15 pour cent. La taille inférieure de *S. pr. prasiniferum* permet d'en élever un plus grand nombre par unité de surface, comparé à *O. fuscovittata*. Das, Ganguly et Haddar (2010) ont aussi déterminé la température optimale et la photopériode requises pour l'élevage de masse de *Oxya hyla hyla* et ont réalisé des expériences d'utilisation du fumier de sauterelles pour améliorer la fertilité des sols. Ils ont trouvé que les apports en azote, phosphore et potassium par le fumier des acridiens étaient similaires à ceux des fumiers d'animaux conventionnels.

*Essais d'alimentation des poissons et des volailles*

Des essais d'alimentation de certaines espèces de poisson ont montré que les aliments dans lesquels 25 et 50 pour cent de la farine de poisson étaient remplacés par de la farine d'acridiens donnaient d'aussi bons résultats que l'aliment témoin contenant 100 pour cent de farine de poisson. Tous les paramètres de croissance mesurés chez les poissons étudiés étaient supérieurs avec les aliments contenant des farines d'acridiens, à ceux obtenus avec les aliments disponibles sur le marché. Ceci montre que les acridiens pourraient remplacer avec succès les farines conventionnelles de poisson.

Des cailles japonaises (*Coturnix japonica japonica*) ont été nourries avec différents aliments dans lesquels des farines d'*Oxya* remplaçaient graduellement les farines de poisson. Pour une série de paramètres de croissance, les meilleurs résultats ont été obtenus avec des aliments dans lesquels 50 pour cent des farines de poisson ont été remplacés par des farines d'*Oxya*. De plus, la fécondité (c.-à-d. le nombre d'œufs pondus par femelle) était significativement supérieure, comparée au traitement témoin.

Ainsi, parmi les acridiens étudiés, deux espèces nutritionnellement riches, du genre *Oxya* (*O. fuscovittata* et *O. hyla hyla*) ont la capacité de produire des quantités substantielles de biomasse en raison de leurs taux élevés de fécondité et de fertilité. On estime qu'*Oxya* pourrait remplacer au moins 50 pour cent des farines de poisson dans les aliments pour poissons et les oiseaux de basse-cour. Ces résultats renforcent l'idée d'établir des fermes d'élevage d'acridiens dans lesquelles *O. fuscovittata* et *O. hyla hyla* seraient élevées en masse en les nourrissant de sorgho d'Alep, *Sorghum halepense* et d'herbe de Para, *Brachiaria mutica*. La transition vers l'utilisation de produits tissulaires acridiens devrait être relativement simple, assurant la fourniture d'une source constante de composants alimentaires avec lesquels les industriels pourront complémenter les aliments pour le bétail destiné à la consommation humaine et animale. De plus, si les acridiens sont popularisés comme sources alternatives d'aliments pour l'homme et pour les animaux, cela pourrait diminuer significativement le taux de surexploitation des farines de poisson et en conséquence abaisser le rapport demande/offre pour les farines de poisson, contribuant à faire baisser les prix du marché (Haldar, 2012).

# 8. Élever les insectes

## 8.1 DÉFINITIONS ET CONCEPTS

L'agriculture, au sens large, comprend la gestion des animaux (élevage) et des plantes (agronomie, horticulture et, pour une part, sylviculture) (FAO, 1997b). Cependant, le concept d'élevage des insectes est relativement nouveau dans les milieux du développement, y compris à la FAO. Les insectes sont élevés dans un espace réservé à cet effet (c.-à-d. une ferme d'élevage) où les conditions de vie des insectes, leur régime alimentaire et la qualité de leurs aliments sont contrôlés. Les insectes d'élevage sont gardés en captivité, ou en «ranch» et sont ainsi isolés de leurs populations naturelles. Le terme «production naturelle améliorée» tel qu'il s'applique aux insectes est défini dans la section 4.4.

En anglais, les mots «rearing» (qui signifie élevage, dans le sens éducation) et «breeding» (qui signifie élevage, dans le sens reproduction, lignée) sont souvent confondus. Le mot «breeding» est plus souvent utilisé pour l'élevage du bétail que pour celui des insectes. Au sens strict, «rearing» fait référence à l'action de garder, de surveiller les animaux, alors que «breeding» fait référence à leur reproduction. «Breeding» se réfère souvent à la production d'une descendance améliorée, c'est-à-dire améliorer le cheptel en sélectionnant au sein de la population des individus possédant certaines caractéristiques recherchées. Mais garder des insectes dans un milieu confiné peut avoir un effet génétique sur les populations par consanguinité, effet fondateur, dérive génétique et adaptation aux conditions du laboratoire, au point qu'elles ne ressemblent souvent plus aux populations sauvages.

La distinction entre élevage et mini-élevage n'est pas toujours claire: le *mini-élevage* implique que les petits animaux sont élevés pour un usage domestique ou pour le profit (pas comme animaux de compagnie), particulièrement dans une ferme d'élevage. Ce peuvent être de petits mammifères, amphibiens, reptiles ou invertébrés, y compris les insectes (Paoletti, 2005). Selon Hardouin (1995) «ces espèces animales comprennent aussi bien des vertébrés que des invertébrés, naturellement terrestres ou aquatiques, mais d'un poids inférieur à 20 kg, et que ces animaux doivent offrir un bénéfice potentiel soit nutritionnel soit économique». À l'inverse, l'élevage concerne le bétail, la volaille, les moutons, les lamas, les alpacas, les chèvres, les chameaux, les chevaux et d'autres animaux similaires élevés pour un usage domestique ou pour le profit, mais pas comme animaux de compagnie.

## 8.2 L'ÉLEVAGE DES INSECTES

La plupart des insectes comestibles sont récoltés dans la nature mais un petit nombre d'espèces ont été domestiquées en raison de la valeur commerciale de leurs produits. Les vers à soie et les abeilles sont les exemples les plus connus. La sériciculture – élevage du ver à soie pour la production de soie brute – est originaire de Chine et remonte à 5000 ans. La forme domestique a augmenté la taille du cocon, les taux de croissance, l'efficacité digestive et la capacité à vivre dans des conditions de promiscuité. Les adultes ne peuvent plus voler et l'espèce est devenue totalement dépendante de l'homme pour sa survie. Les larves d'abeille et les chrysalides de ver à soie sont toutes deux un sous-produit consommé par l'homme (Encadré 8.1). De plus, certaines espèces d'insectes sont élevées pour nourrir les animaux de compagnie. Par exemple, les vers de farine et les grillons sont élevés principalement comme aliments pour les animaux de compagnie en Europe, en Amérique du Nord et dans certaines parties de l'Asie.

ENCADRÉ 8.1

**Les systèmes de production double (fibre et aliments): l'exemple du ver à soie**

**Colombie.** En sériciculture, les chrysalides du ver à soie domestique (*Bombyx mori*) sont considérées comme des sous-produits et de bonnes sources d'aliments pour les hommes et pour les animaux. Avec une production annuelle estimée de 1,2 à 1,4 million de cocons de ver à soie par hectare de mûrier et une chrysalide pesant 0,33 g (poids sec), la production moyenne de produit biologique (chrysalides) est de 400 à 460 kg par hectare (DeFoliart, 1989). De plus, les excréments (les déchets laissés par les insectes après digestion des parties végétales consommées) peuvent être utilisés comme engrais ou comme aliments pour les poissons d'étang.

**Inde.** Les déchets de la sériciculture ne sont utilisés que pour la production de biogaz et de compost. Les chercheurs expérimentent l'alimentation de la volaille avec ces déchets (Krishnan *et al.*, 2011). La filière avicole est une des agro-industries les plus dynamiques en Inde; cependant, les produits alimentaires durables avec des taux de conversion élevés ne sont pas disponibles partout. Krishnan *et al.* (2011) ont soutenu que les déchets de la sériciculture étaient intéressants car ils ne sont pas toxiques et ont même de meilleurs taux de conversion que les aliments pour animaux conventionnels.

**Kenya.** Un projet au Kenya a relié avec succès la conservation des forêts et l'amélioration des moyens de subsistance (Raina *et al.*, 2009). En commercialisant des insectes tels que le ver à soie du mûrier, les communautés forestières locales ont pu vendre également la soie qu'elles produisaient, qui s'est révélée une source alternative précieuse de revenus. Les chrysalides invendues servaient à nourrir les poulets. Ces bénéfices ont incité les communautés locales à mieux gérer les forêts environnantes.

**Madagascar.** Une ONG locale, l'Association des producteurs de soie à base communautaire (SEPALI), et son partenaire des États-Unis «Conservation through Poverty Alleviation» (La conservation grâce à la diminution de la pauvreté), réalisent un programme visant à diminuer la pression exercée localement sur l'aire protégée de Makira nouvellement établie, en aidant les agriculteurs locaux dans la production de soie artisanale obtenue de papillons endémiques. En 2013, SEPALI va mettre en œuvre le projet «Des chrysalides pour des protéines». Les populations consomment certains types de vers à soie et de chrysalides élevés dans la région de Makira. Lorsque les éleveurs produisent 4 000 chrysalides et qu'ils en sélectionnent 200 pour l'élevage futur, les 3 800 chrysalides restantes peuvent être bouillies, sautées, séchées ou moulues en une poudre protéinée riche en calcium. En fait, 3 800 chrysalides correspondent approximativement en poids à un vari roux (lémur roux à crinière), une espèce en danger.

Un autre produit commercial de valeur obtenu d'insectes d'élevage est l'acide carminique. L'acide carminique provient d'une cochenille (*Dactylopius coccus*), qui est domestiquée sur le cactus *Opuntia ficus-indica* var. *atlixo* (voir la section 2.4). L'acide est utilisé comme colorant rouge pour les aliments humains et dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques.

Des insectes sont également élevés pour l'agriculture soit pour lutter contre des insectes nuisibles, soit pour la pollinisation. Pour la lutte biologique, de grandes compagnies d'élevage produisent en masse des insectes bénéfiques tels que des prédateurs et des parasitoïdes (Encadré 8.2). Ces insectes sont souvent vendus aux producteurs de fruits, de légumes et de fleurs pour lutter contre les insectes nuisibles et sont aussi utilisés dans les grandes cultures, par exemple les parasitoïdes des œufs (*Trichogramma* spp.) et les parasitoïdes des larves (*Cotesia flavipes*) pour lutter contre les foreurs de la canne à sucre. Les bourdons (*Bombus* spp.) et les abeilles (*Apis* spp.) sont élevés dans le monde entier pour contribuer à la pollinisation des cultures et des vergers.

ENCADRÉ 8.2

**Lutte biologique et pollinisation naturelle**

La production à grande échelle, d'une part, des ennemis naturels pour lutter contre les insectes nuisibles à l'agriculture, et, d'autre part, des abeilles pour la pollinisation des cultures est une activité mondiale. Sur le marché international, Koppert Biological Systems est leader dans le domaine de la protection biologique des cultures et de la pollinisation naturelle. La compagnie développe et commercialise des systèmes de pollinisation (bourdons et abeilles) et des programmes de lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) pour protéger les cultures de grande valeur.

Les ennemis naturels des insectes nuisibles, appelés aussi agents de lutte biologique, comprennent les prédateurs, les parasitoïdes et les pathogènes. Les prédateurs (p. ex. les coccinelles) se nourrissent de leur proie, provoquant la mort de cet organisme. Un parasitoïde se développe à l'intérieur de l'insecte hôte et, éventuellement, le tue (p. ex. les guêpes parasites). Les prédateurs et les parasitoïdes peuvent être élevés en masse puis relâchés en plein champ ou dans les serres pour lutter contre les nuisibles agricoles, diminuant ainsi les dégâts aux cultures. Des insectes sont aussi élevés pour la production in vivo de nématodes pathogènes et de virus. Ces insectes et leurs produits sont d'excellents exemples de méthodes de protection des végétaux non chimiques, non toxiques, non dangereuses et respectueuses de l'environnement. Elles sont communément incluses dans les stratégies IPM appliquées à la lutte contre les insectes nuisibles majeurs pour de nombreuses cultures alimentaires et textiles.

Une méthode couramment utilisée en IPM est la technique de stérilisation des insectes, dans laquelle de grands nombres d'insectes stériles sont relâchés dans l'environnement et entrent en compétition pour les femelles avec les mâles sauvages. Lorsqu'une femelle s'accouple avec un mâle stérile, elle n'aura pas de descendance, et ainsi, la population de la génération suivante sera réduite. Le lâcher répété d'insectes stériles peut limiter ou éradiquer une population. Cette technique a été utilisée avec succès pour éradiquer la lucilie bouchère (*Cochliomyia hominivorax*), un insecte nuisible au bétail dans certaines parties de l'Amérique du Nord, et pour lutter contre la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) en Amérique centrale, où elle a provoqué des dégâts considérables sur une large gamme de cultures fruitières.

Dans les régions tempérées, il existe des compagnies qui produisent des insectes en grands nombres pour alimenter les animaux de compagnie et pour servir d'appâts pour la pêche. Les espèces les plus utilisées sont les grillons (*Gryllodus sigillatus*, *Gryllus bimaculatus* et *Acheta domesticus*), les vers de farine (*Zophobas morio*, *Alphitobius diaperinus* et *Tenebrio molitor*), les criquets (*Locusta migratoria*), les cétoines marginées du Kenya (*Pachnoda marginata peregrina*), les fausses teignes de la cire (*Galleria mellonella*), les cafards (*Blaptica dubia*) et les asticots de la mouche domestique (*Musca domestica*). Certaines compagnies produisent même des Mighty Mealys^MD^, qui sont des vers de farine géants (*T. molitor*) dont les larves ont été traitées avec des hormones de croissance. L'hormone supprime la nymphose et permet aux larves de grossir jusqu'à une taille d'environ 4 cm, les rendant idéales pour nourrir les animaux de compagnie et comme appât.

De plus, certains insectes sont utilisés à but médical. La mouche verte (*Lucilia sericata*), par exemple, est élevée pour son utilisation en asticothérapie. Des asticots vivants, désinfectés, sont introduits dans des plaies des tissus mous d'humains ou d'animaux pour nettoyer les tissus nécrosés (détersion) et désinfecter la zone traumatique. Des acariens sont aussi élevés commercialement pour les tests d'allergie. L'Institut de recherches sur les ressources en insectes, de l'Académie forestière de Chine à Kunming, a conduit des

travaux importants de recherche sur l'élevage d'insectes à des fins d'applications médicales (Feng *et al.*, 2009), et leur utilisation comme aliments par les astronautes dans l'espace a été étudiée (Encadré 8.3).

ENCADRÉ 8.3
**Des protéines d'insectes dans l'espace**

Il a été suggéré que les insectes pourraient être une source de protéines pour les vols dans l'espace. Des chercheurs en Chine, au Japon et aux États-Unis envisagent sérieusement cette ressource alimentaire pour les voyages spatiaux et les stations orbitales. La Chine planifie la construction d'un modèle terrestre de système de survie biorégénératif qui utilisera des vers à soie (DeFoliart, 1989; Katayama *et al.*, 2008; Hu, Bartsev et Liu, 2010). Des espèces telles que *Agrius convolvuli*, *Stegobium paniceum* et *Macrotermes subhyalinus* ont également été proposées (Katayama *et al.*, 2005).

Les autres raisons d'élever des insectes comprennent les recherches sur la sélection végétale et la lutte chimique (p. ex. évaluation des pesticides et des effets collatéraux sur les espèces d'arthropodes non visés). Les insectes sont aussi élevés à des fins éducatives et récréatives, par exemple, dans les zoos et les jardins de papillons. Dans certains pays, les insectes sont utilisés comme animaux de compagnie – tels que les phasmes et les grillons chanteurs ou combattants dans la culture chinoise (voir la section 2.1) et les scarabées, tels que les lucanes (Lucanidae) et les scarabées rhinocéros (Dynastinae) au Japon, en Thaïlande et au Viet Nam.

Les utilisations potentielles des insectes sont nombreuses. Récemment, l'utilisation des insectes pour la bioconversion du fumier et des déchets a été étudiée (voir la section 7.4). Il serait utile de promouvoir l'engagement des industries produisant déjà des insectes, par exemple pour l'alimentation des animaux de compagnie, dans la production d'aliments pour la consommation animale et humaine (p. ex. des vers de farine, des criquets et des grillons).

## 8.3 L'ÉLEVAGE DES INSECTES POUR LA CONSOMMATION HUMAINE

### 8.3.1 Zones tropicales

Le meilleur exemple d'élevage d'insectes pour la consommation humaine sous les tropiques est celui des grillons. En Thaïlande, deux espèces sont élevées: le grillon local (*Gryllus bimaculatus*) et le grillon domestique (*Acheta domesticus*). Le grillon local est intéressant du point de vue économique, mais le goût et la qualité du grillon domestique sont généralement considérés supérieurs (Y. Hanboonsong, communication personnelle, 2012).

Les méthodes utilisées pour l'élevage des grillons en République démocratique populaire lao, en Thaïlande et au Viet Nam – pays pionniers dans l'élevage des grillons – sont très semblables. Dans ces pays, les grillons sont simplement élevés dans des hangars dans chaque arrière-cour, et il n'est besoin d'aucun matériel onéreux. En République démocratique populaire lao et en Thaïlande, des anneaux de béton d'environ 0,5 m de hauteur et 0,8 m de diamètre sont utilisés comme unités d'élevage, alors qu'au Viet Nam, ce sont des bassines en plastique. Dans chaque «arène», une couche de balle de riz (ou de déchets du riz) est disposée sur le fond. Des aliments pour poulets, ou d'autres aliments pour animaux de compagnie, des débris végétaux provenant de citrouilles, de fleurs d'ipomées, de pieds de riz et d'herbes sont utilisés pour nourrir les grillons. Des bouteilles en plastique fournissent de l'eau; une assiette remplie de pierres et d'eau peut aussi être utilisée, les pierres évitant la noyade des grillons. Des rubans adhésifs ou des

nappes plastiques fixées à l'intérieur de la paroi de «l'arène», tout près du bord pour empêcher l'évasion rampante des grillons. Des boîtes à œufs en carton, des feuilles d'arbres et des troncs creux servent à créer plus d'espace pour les grillons. Les femelles pondent leurs œufs dans des petites coupelles remplies de sable et de balle de riz brûlée. Après un certain temps, ces coupelles sont déplacées vers une autre enceinte où une nouvelle génération sera élevée. Chaque coupelle est recouverte d'une couche de balle de riz pour maintenir une température d'incubation adéquate. Les «arènes» sont recouvertes, par exemple, d'une toile moustiquaire pour empêcher l'évasion des grillons; ceci empêche également la pénétration d'autres animaux tels que les geckos. Les zones d'élevage sont entourées par un fossé – une bande étroite d'eau contenant de très petits poissons – qui prévient la pénétration des fourmis (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005; J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2008).

### 8.3.2 Zones tempérées

Dans les zones tempérées, l'élevage des insectes est principalement réalisé par des entreprises familiales qui élèvent en grandes quantités des vers de farine, des grillons et des sauterelles pour l'alimentation des animaux de compagnie. Du fait que ces espèces sont généralement élevées dans des espaces clos et confinés, une climatisation contrôlée est souvent mise en œuvre, car les températures élevées peuvent provoquer la déshydratation des larves au corps mou.

L'élevage des insectes en grandes quantités, pour la consommation d'insectes entiers et/ou pour l'extraction de protéines, est possible dans les pays industrialisés. Les éléments essentiels pour réussir un élevage comprennent une très bonne connaissance de la biologie, des conditions d'élevage et de la formulation d'aliments artificiels (Wang *et al.*, 2004; Feng et Chen, 2009; Schneider, 2009). Les aliments peuvent être modifiés pour accroître leur valeur nutritionnelle (Anderson, 2000) et l'adaptation du programme lumineux peut permettre d'optimiser la production; par exemple, l'exposition des grillons à la lumière 24 heures sur 24, peut augmenter la production (Collavo *et al.*, 2005). Ce sujet mérite des recherches complémentaires.

Cohen (2001) a critiqué le manque de reconnaissance professionnelle de l'élevage des insectes, a proposé la formalisation de leur élevage et des sciences et technologies alimentaires à base d'insectes comme disciplines académiques. Un élevage de qualité est essentiel pour la généralisation de l'utilisation des insectes comme aliments pour l'homme.

L'élevage des insectes en grand nombre constitue un autre défi majeur, et nécessite la mise au point de procédés automatisés. Ils sont en cours d'étude pour les vers à soie (Ohura, 2003). Robert Kok et ses collègues de l'Université McGill au Canada étudient la conception optimale des fermes d'élevage à grande échelle des insectes (Kok, 1983; Kok, Shivhare et Lomaliza, 1990) (Tableau 8.1). Néanmoins, les obstacles majeurs à l'élevage à grande échelle sont les coûts et l'approvisionnement toujours incertain par nature en déchets ainsi que la capacité de fournir de façon suivie un produit de haute qualité.

## 8.4 L'ÉLEVAGE DES INSECTES POUR L'ALIMENTATION ANIMALE

Les insectes sont beaucoup plus efficaces dans la conversion des aliments en masse corporelle que le bétail conventionnel et sont particulièrement précieux car ils peuvent être élevés sur déchets organiques (p. ex. les déjections animales). Les recherches sur l'élevage des insectes à grande échelle pour l'alimentation humaine et animale restent une priorité. Les systèmes de production actuels sont encore trop chers. Une étude aux Pays-Bas (Meuwissen, 2011) a suggéré que la production de vers de farine est toujours 4,8 fois plus chère que celle des aliments conventionnels pour poulets. En particulier, les coûts du travail et de construction des locaux nécessaires à la production à grande échelle d'aliments pour animaux sont beaucoup plus élevés pour les insectes que pour les aliments destinés aux poulets.

TABLEAU 8.1
**Caractéristiques des insectes propices aux systèmes automatisés de production**

| Structure sociale des populations | Réactions aux humains |
|---|---|
| Grégaires | Facilement habitués |
| Petits territoires | Peu dérangés |
| Mâles associés à des groupes de femelles | Non antagonistes, pas d'odeur désagréable |
| **Comportements agonistiques intra et interspécifiques** | **Comportement parental** |
| Non antagonistes avec les individus de son espèce | Soins aux œufs |
| Non antagonistes avec les individus d'une autre espèce | Autonomie précoce des jeunes |
| Altruistic | Jeunes aisément séparés des adultes |
| **Comportement sexuel** | **Ontogénie** |
| Initié par le mâle | Cycle de développement court |
| Signaux sexuels par mouvements ou posture | Taux de survie élevé des immatures |
| Induit par des phéromones | Taux de ponte élevé |
| Partenaires sexuels multiples | Potentiel élevé de croissance par jour de la biomasse |
| Facilité de reproduction | Faible vulnérabilité aux maladies/parasites |
| **Comportement alimentaire** | **Activités locomotrices et habitat préférentiel** |
| Omnivore | Non-migrateur |
| Se nourrit d'aliments communs | Sédentaire ou domaine vital limité |
| Non-cannibale | Mobilité réduite |
| Accepte des aliments artificiels | Grande tolérance aux conditions de milieu |
| Signaux endogènes de satiété | Versatilité écologique |

*Source:* Kok, 1983; Gon et Price, 1984.

## 8.5 RECOMMANDATIONS POUR L'ÉLEVAGE DES INSECTES

La «Consultation internationale d'experts sur l'évaluation du potentiel des insectes comme aliments pour les hommes et pour les animaux afin de contribuer à la sécurité alimentaire» qui s'est tenue au siège de la FAO à Rome en Italie, du 23 au 25 janvier 2012, a fait des recommandations sur l'élevage des insectes, et des suggestions sur: la constitution de collections d'espèces et de lignées; la production domestique; la formation à l'élevage des insectes; le choix, le coût et la régularité de l'approvisionnement en aliments pour les insectes; la sécurité et les questions de santé et d'environnement; et sur les problèmes stratégiques des éleveurs d'insectes à l'échelle industrielle.

### 8.5.1 Collections d'espèces et de lignées pour l'alimentation humaine et animale

La Consultation internationale d'experts a convenu que les élevages dans les pays tropicaux devraient utiliser des espèces locales car elles ne posent virtuellement aucun risque pour l'environnement, il n'y a aucun besoin de climatisation, et de telles espèces locales seront vraisemblablement mieux acceptées culturellement. Les critères de sélection devraient comprendre la facilité d'élevage, le goût, la couleur et la possibilité de les utiliser comme aliment pour les animaux. Dans les zones tempérées, les espèces cosmopolites, comme le grillon domestique (*Acheta domesticus*) devraient être utilisées, ou celles qui ne présentent aucun risque pour l'environnement.

La production à échelle industrielle a été définie lors de la Consultation par la production d'au minimum une tonne d'insectes par jour, en poids frais. De plus, les espèces destinées à être produites en masse devraient posséder certaines caractéristiques, dont: un fort taux intrinsèque de croissance; un cycle de développement court; un fort taux de survie des immatures et un taux de ponte élevé; un fort potentiel d'accroissement quotidien de la biomasse (c.-à-d. gain de poids par jour); un fort taux de conversion (gain de biomasse – en kg – par kg d'aliment consommé); la capacité de vivre dans des conditions de fortes densités

(kg de biomasse par m²); et une faible vulnérabilité aux maladies (haute résistance). Les bonnes candidates considérées furent la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) comme aliment pour les animaux, et le ver de farine (*Tenebrio molitor*) comme aliment à la fois pour les animaux et pour l'homme. Du fait de la vulnérabilité des systèmes de production, l'utilisation exclusive d'une seule espèce doit être évitée (Encadré 8.4). Finalement, il a été recommandé de préserver les lignées parentales en cas d'échec de l'élevage.

ENCADRÉ 8.4
**Difficultés de l'élevage des grillons aux Pays-Bas**

La compagnie d'élevage des insectes Kreca vendait plus de 10 000 boîtes de grillons (*Acheta domesticus*) chaque semaine. En 2000, 50 pour cent des grillons élevés par cette compagnie moururent dans les 8-12 heures, un effondrement de population qui n'avait jamais été observé précédemment. Un densovirus a été suspecté d'être la cause de la mortalité des grillons, et des règles sanitaires très sérieuses ont été mises en place. Tous les grillons morts ont été enlevés, la totalité des locaux d'élevage a été nettoyée, et des mesures strictes d'hygiène ont été appliquées. En plus du programme sanitaire, le site de l'élevage a été déplacé et les œufs de grillon ont été soigneusement lavés. Cependant, ces efforts se sont révélés inefficaces. En conséquence, l'élevage des grillons a été abandonné. L'utilisation exclusive d'une seule espèce est fortement déconseillée pour les mêmes nombreuses raisons qui suggèrent d'éviter la monoculture en agriculture – leur grande vulnérabilité aux maladies et aux parasites. Actuellement, Kreca élève trois espèces de grillon: *A. domesticus*, *Gryllus bimaculatus* et *Gryllodes sigillatus*, cette dernière espèce ayant les perspectives économiques les plus intéressantes.

Les autres questions identifiées et discutées par la Consultation internationale d'experts comprennent:

- L'espèce est-elle apte à un élevage automatisé à grande échelle (réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre)?
- L'espèce peut-elle être confinée dans les zones où elle n'est pas naturellement présente? Quelles seront les conséquences sur la biodiversité si elle y est introduite?
- Y a-t-il des possibilités d'amélioration génétique de l'espèce par élevage sélectif pour obtenir des lignées de grande qualité?
- Quelle est l'empreinte écologique des insectes (p. ex. production de GES)?
- Quels sont les besoins en eau?

### 8.5.2 Production domestique

Sous les tropiques, l'accent devrait être mis sur la maximalisation de la productivité des systèmes de gestion traditionnels. Des procédures devraient être développées pour les élevages à petite échelle – comme des kits à utiliser à domicile – afin que les populations puissent installer des petites unités d'élevage. Des aliments pour insectes devraient être disponibles localement. Par exemple, les possibilités d'utiliser les déchets organiques (ou les sous-produits) disponibles devraient être évaluées.

### 8.5.3 Formation à l'élevage des insectes

Les éleveurs peuvent apprendre de leurs expériences respectives. Les coopératives peuvent être efficaces dans l'échange d'informations et leur établissement doit être promu aussi bien dans les pays tropicaux que tempérés. Des ateliers devraient aussi être organisés pour l'échange des connaissances et pour le renforcement des réseaux.

De plus, dans les pays tropicaux, la formation des éleveurs pourrait être faite en suivant le modèle des «écoles d'agriculture de terrain», qui s'est montré efficace dans d'autres

actions de développement agricole et qui nécessite l'implication des services locaux de vulgarisation agricole. L'enseignement de l'élevage des insectes devrait être incorporé dans les cursus formels d'éducation, dont ceux des écoles primaires et secondaires et ceux des universités, afin que les populations sachent que les insectes peuvent être élevés comme tout autre bétail.

La Faculté d'agriculture de l'Université nationale de la République démocratique populaire lao enseigne déjà l'élevage des grillons à ses étudiants (voir chapitre 12). En Thaïlande, la Faculté d'agriculture de l'Université Khon Kaen a un cours de premier cycle en entomologie industrielle, comprenant l'élevage des insectes comestibles. De plus, l'élevage des grillons, leur transformation et leur commercialisation sont enseignés dans un cours international annuel de formation sur l'utilisation des ressources alimentaires locales pour la sécurité alimentaire.

### 8.5.4 Choix, coûts et régularité de l'approvisionnement des aliments

En choisissant un aliment, il est important de savoir si les insectes sont destinés à l'alimentation animale ou humaine. Pour les insectes destinés à l'alimentation animale, différents sous-produits (déchets organiques) doivent être évalués. Les insectes destinés à l'alimentation humaine doivent être nourris avec des aliments pour animaux de qualité, voire même avec des aliments pour humains si les insectes ne sont pas purgés. Les déchets ne sont pas une option valable pour la consommation humaine; ce sujet nécessite des recherches complémentaires. Finalement, l'aliment doit être peu onéreux, disponible localement, de qualité et d'approvisionnement suivis, et par-dessus tout exempt de pesticides et d'antibiotiques.

### 8.5.5 Sécurité, santé et questions environnementales

En matière de production alimentaire, la sécurité est vitale. Les fautes commises dans la filière de l'élevage (p. ex. l'abus des antibiotiques) doivent servir de leçon pour les éleveurs d'insectes. Les stratégies de gestion des maladies doivent être de nature préventive. Les risques humains dus à la production doivent être prévenus, comme la transmission passive de pathogènes et le développement d'allergies parmi le personnel des unités de production. La conception du système d'élevage devra aussi minimiser les susceptibilités aux maladies. Des directives sur les risques ainsi que des normes sanitaires doivent être élaborées et mises en œuvre pour chaque espèce.

### 8.5.6 Sécurité, santé et questions environnementales

Le succès de la filière dépendra de sa capacité à mettre en œuvre une chaîne de production fiable, de qualité constante, et, par-dessus tout, de sa capacité à produire des aliments de qualité et de haute valeur nutritionnelle pour les animaux et pour les hommes. Les développements suivants sont recommandés:

- création d'une société internationale des producteurs d'insectes pour l'alimentation animale et humaine pour compléter l'Association des éleveurs d'insectes pour la lutte biologique, déjà existante, avec la possibilité de publier une revue de la société;
- développement d'un code de conduite et de règles (sur le modèle, si possible, de ceux de la filière de production des champignons) et d'un contrôle qualité des produits pour gagner en crédibilité;
- adoption d'un langage commun dans la filière pour faciliter la communication vers le grand public;
- développement d'une stratégie commerciale qui détermine les industries et les consommateurs cibles;
- création d'une liste d'espèces «approuvées par la société» pour la consommation humaine;
- centralisation de l'information de la littérature, des méthodes et des pratiques;
- liaison avec les décideurs politiques et les chercheurs.

# 9. Transformation des insectes comestibles pour l'alimentation humaine et animale

## 9.1 DIFFÉRENTS TYPES DE PRODUITS DE CONSOMMATION

Après récolte dans la nature ou élevage dans des installations domestiques, les insectes sont tués par lyophilisation, séchage au soleil ou ébouillantage. Ils peuvent être transformés ou consommés de trois façons: comme insectes entiers; sous forme moulue ou de pâte; ou comme un extrait de protéines, de matières grasses ou de chitine pour complémenter des produits alimentaires pour animaux et pour l'homme. Les insectes sont aussi frits vivants et consommés.

Dans les pays où les insectes comestibles sont traditionnellement consommés, les habitudes alimentaires ont évolué vers des régimes alimentaires occidentaux. Pour lutter contre cette tendance, des initiatives ont été entreprises, comme par exemple au Mexique, où des tortillas ont été enrichies avec des vers de farine (Aguilar-Miranda *et al.*, 2002). Cette section donne des exemples de projets innovants qui ont mis au point des produits prometteurs, à base d'insectes comestibles.

### 9.1.1 Insectes entiers

Dans les pays tropicaux, les insectes sont souvent consommés entiers, mais certains insectes, tels que les sauterelles et les criquets, nécessitent la suppression de certaines parties (p. ex. les ailes et les pattes). En fonction du plat, les insectes frais peuvent être cuisinés, rôtis, frits ou bouillis. En République démocratique populaire lao, comme dans d'autres pays, on peut trouver au marché des insectes prêts à être consommés comme amuse-gueules ou frits avec des feuilles de citronnier.

### 9.1.2 Granulés et pâtes

Le concassage ou la mouture sont des méthodes communes de préparation d'une grande variété d'aliments. Le soja, par exemple, est souvent transformé en tofu ou en d'autres analogues de la viande. La viande est cuisinée en produits tels que les hamburgers ou les hot-dogs, et les poissons sous la forme populaire de bâtonnets de poisson. D'une façon tout à fait semblable, les insectes comestibles peuvent être moulus en une pâte ou une poudre qui peuvent être ajoutées à d'autres aliments pauvres en protéines pour accroître leur valeur nutritionnelle. Une façon simple pour obtenir de la poudre est de sécher les insectes et de les moudre. En Thaïlande et en République démocratique populaire lao, la pâte pimentée à base de nèpes géantes (*Lethocerus indicus*) broyées et moulues, est très appréciée comme ingrédient principal (appelée localement «jaew maeng da» en République démocratique populaire lao et «nam phick» en Thaïlande). Le goût de la nèpe géante est maintenant reproduit artificiellement et ce produit est d'ores et déjà disponible. Dans les sociétés qui ne sont pas accoutumées à manger les insectes entiers, les pâtes et les granulés pourraient être mieux acceptés.

### 9.1.3 Protéines extraites des insectes

Les consommateurs occidentaux peuvent être réticents à accepter les insectes comme source légitime de protéines, car les insectes n'ont jamais eu de rôle substantiel dans leur culture alimentaire. L'extraction des protéines d'insectes pour des produits alimentaires

destinés à l'homme – un procédé déjà mis en œuvre – pourrait être un moyen pratique pour accroître l'acceptabilité de ces protéines par des consommateurs circonspects. Dans certains cas, l'extraction et la séparation des protéines d'insectes sont souhaitables pour augmenter la teneur en protéines d'un aliment. Toutefois, enrichir des aliments de cette façon avec des insectes nécessite une connaissance approfondie des propriétés des protéines extraites. Ces propriétés comprennent, entre autres, la composition en acides aminés, la stabilité thermique, la solubilité, les capacités gélifiante, moussante et émulsifiante. La séparation des groupes de protéines en fonction de leur solubilité dans des solvants produit des fractions solubles dans l'eau et d'autres insolubles dans l'eau, qui peuvent être utilisées pour des applications spécifiques dans les deux filières alimentaires pour animaux et pour les humains. Des processus enzymatiques constituent des méthodes alternatives d'obtention de chaînes protéiniques de longueur spécifique. La chromatographie sur lit fluidisé et l'ultrafiltration sont des méthodes alternatives de séparation des protéines.

Actuellement, les coûts d'extraction des protéines sont prohibitifs. Plus de recherches sont nécessaires pour développer davantage le procédé et le rendre économiquement rentable et utilisable à l'échelle industrielle. L'Université de Wageningen réalise (en 2012-2013) un programme de recherches sur la production durable de protéines d'insectes destinées à la consommation humaine, pour explorer les possibilités d'extraction des protéines des insectes afin d'enrichir des aliments destinés à l'homme. Dans le cadre du projet nommé Supro2, des insectes comestibles sont élevés sur des sous-produits organiques, après quoi leurs protéines sont extraites, purifiées et caractérisées afin de les adapter à des aliments spécifiques. Les protéines extraites pourraient aussi être incorporées à des aliments pour animaux, cependant la faisabilité économique doit être vérifiée.

### 9.1.4 Exemples de produits à base d'insectes comestibles pour la consommation humaine

***SOR-Mite (bouillie de sorgho enrichie en protéines)***

La compétition «Développer des solutions pour les pays en développement», organisée par l'Institut des techniciens de l'alimentation, promeut l'application des sciences et des techniques de l'alimentation et le développement de nouveaux produits et procédés dans le but d'améliorer la qualité de vie des populations des pays en développement. Le premier prix de cette compétition a été remis, lors de l'Exposition alimentaire annuelle de Anaheim aux États-Unis en juin 2009, au projet SOR-Mite, un mélange à base de sorgho enrichi avec des termites. Les céréales faiblement nutritives habituellement consommées dans de nombreux pays africains, sont pauvres en protéines et en matières grasses et manquent de plusieurs acides aminés essentiels, tels que la lysine. Pour cette raison, enrichir ces céréales avec des termites ailés hautement nutritifs (*Macrotermes* spp.), facilement récoltés en début de saison des pluies, paraît pertinent. Le mélange fermenté peut être consommé en porridge (bouillie) au petit-déjeuner, au déjeuner ou au dîner, en fonction des préférences locales. Les deux matières premières sont facilement disponibles localement (Institute of Food Technologists, 2011).

***Biscuits et petits pains aux termites, au Kenya***

Dans la région du lac Victoria en Afrique de l'Est, les insectes comestibles comme les termites (Isoptera: Termitidae) et les mouches du lac (Diptera, Chaoboridae, Chironomidae et Ephemeroptera) sont abondants et constituent une importante source de nourriture aussi bien pour les hommes que pour leurs animaux. Bien que leur utilisation soit limitée par leur disponibilité saisonnière et leur grande périssabilité, leur préparation par des méthodes culinaires conventionnelles pourrait étendre considérablement leur durée de conservation et contribuer à développer l'entomophagie dans toute la région. Dans une étude récente réalisée dans cet écosystème transfrontalier, les insectes disponibles

localement ont été rôtis, séchés au soleil, moulus, mélangés à d'autres ingrédients et transformés en aliments. Les biscuits à base de termites et à base de mouches du lac, les petits pains, les pains de viande et les saucisses ont montré un grand potentiel commercial (Ayieko, Oriamo et Nyambuga, 2010).

***Buqadilla***
Buqadilla est une collation innovante en cours de mise au point pour le marché hollandais. C'est un produit alimentaire de type mexicain épicé à base de légumineuse (pois chiche) et de 40 pour cent de petits vers de farine. Dans plusieurs restaurants et cantines où le produit a été testé, il a été bien accueilli pour son goût et sa texture moelleuse. Cette collation durable, saine et exotique, est un exemple de façon culturellement acceptable par les consommateurs occidentaux de tester et d'apprécier les insectes comestibles comme aliments (van Huis, van Gurp et Dicke, 2012).

***Crikizz***
Crikizz est un autre exemple de produit européen à base d'insecte. Développé par Ynsect et des étudiants français, Crikizz est un amuse-gueule épicé, soufflé, à base de vers de farine et de manioc. La teneur en vers de farine varie de 10 à 20 pour cent selon la gamme de produits («classique» et «extrême»). Selon les groupes témoins, par rapport aux autres apéritifs, son goût est très agréable et différent, tandis que sa texture est aussi croustillante. Le produit prototype a été réalisé sans conservateurs ni exhausteurs de goût, et la forte teneur en matières grasses des vers de farine fait qu'il n'est pas nécessaire d'en ajouter. Crikizz a remporté un prix lors du concours national français Ecotrophélia 2012 pour l'innovation culinaire.

***Vers de farine préparés pour l'alimentation des animaux de compagnie et d'élevage et pour les hommes***
HaoCheng Mealworm Inc. est spécialisée en Chine dans l'élevage et la commercialisation des vers de farine, des vers de farine géants et des asticots. La société, établie en 2002, comprend 15 unités d'élevage et produit 50 tonnes de vers de farine et de vers de farine géants par mois. HaoCheng exporte chaque année 200 tonnes de vers de farine séchés vers l'Australie, l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie du Sud-Est.

Les vers de farine, vers de farine géants et asticots sont vendus vivants, séchés, en conserves et en poudre. Ils ont une teneur élevée en protéines et peuvent être utilisés comme compléments dans les aliments pour animaux aussi bien que pour hommes:

- Alimentation humaine. La poudre de ver de farine peut être incorporée au pain, à la farine, aux nouilles instantanées, aux pâtisseries, aux biscuits, aux bonbons et aux condiments. Les insectes peuvent aussi être consommés entiers comme plat et comme accompagnement, ou transformés en suppléments médicinaux pour renforcer le système immunitaire humain.
- Alimentation animale. Les insectes entiers peuvent être utilisés directement comme aliments et comme suppléments alimentaires pour les animaux de compagnie comme les oiseaux, les chiens, les chats, les grenouilles, les tortues, les crevettes, les scorpions, les chilopodes, les fourmis, les poissons rouges et pour les animaux sauvages (HaoCheng Mealworm Inc., 2012).

### 9.1.5 Matières grasses extraites des insectes
L'extraction des matières grasses (et des cendres) lors de la fabrication des produits dérivés des insectes, tels que la farine d'insectes, réduit la viscosité du concentré de protéines et protège les acides gras (pour la plupart insaturés) contre une oxydation indésirable. Les matières grasses peuvent alors être utilisées à d'autres fins. Traditionnellement, les matières grasses (p. ex. l'huile) de certaines espèces d'insectes sont très utilisées pour frire la viande et d'autres aliments (Encadré 9.1).

ENCADRÉ 9.1

**Termites: méthodes de préparation en Afrique de l'Est et en Afrique de l'Ouest**

- Les termites ailés sont souvent frits dans leurs propres matières grasses. Les termites frits contiennent de 32 à 38 pour cent de protéines (Thion, 1946; Santos Oliveira *et al.*, 1976; Nkouka, 1987).
- En Ouganda, les termites sont étuvés à la vapeur dans des feuilles de bananiers.
- Après leur essaimage, les termites sont bouillis ou rôtis, puis séchés au soleil, ou fumés, ou les deux, en fonction du temps qu'il fait (Silow, 1983).
- Parfois, les termites sont écrasés au pilon et mortier et consommés avec du miel (Ogutu, 1986). Les matières grasses restantes, après la friture des termites peuvent être utilisées pour cuire la viande (Bequaert, 1921), une vieille tradition chez les Azende et les Pygmées de la République démocratique du Congo (Bergier, 1941).
- Les Pygmées conservent dans des tubes l'huile obtenue de la friture ou de la pression de termites séchés et l'utilisent pour traiter leur corps et leurs cheveux (Costermans, 1955).
- Dans de nombreux villages et villes d'Afrique de l'Est, lors de la saison, des termites séchés au soleil peuvent être achetés au marché local (Osmaston, 1951; Owen, 1973).
- Au Botswana, les femmes san récoltent les termites ailés (*Hodotermes mossambicus*), les font rôtir dans de la cendre et du sable chauds (Nonaka, 1996).

## 9.2 TRANSFORMATION À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

Il existe de vastes connaissances traditionnelles et culturelles sur les utilisations des insectes comestibles dans l'alimentation dans les pays tropicaux, toutefois la production est largement concentrée au niveau domestique et à petite échelle. Dans les pays tempérés, les techniques d'élevage sont quasi inexistantes car les insectes ne sont pas reconnus en tant que ressource alimentaire ni pour les animaux, ni pour les humains. Si les insectes devaient devenir une source de matières premières pour les industries alimentaires pour les animaux et pour les hommes, de grandes quantités d'insectes de qualité devront être produites de façon continue. Ceci nécessite l'automatisation aussi bien des élevages que des industries de transformation des aliments, ce qui reste un défi pour le développement du secteur (tableau 9.1).

TABLEAU 9.1

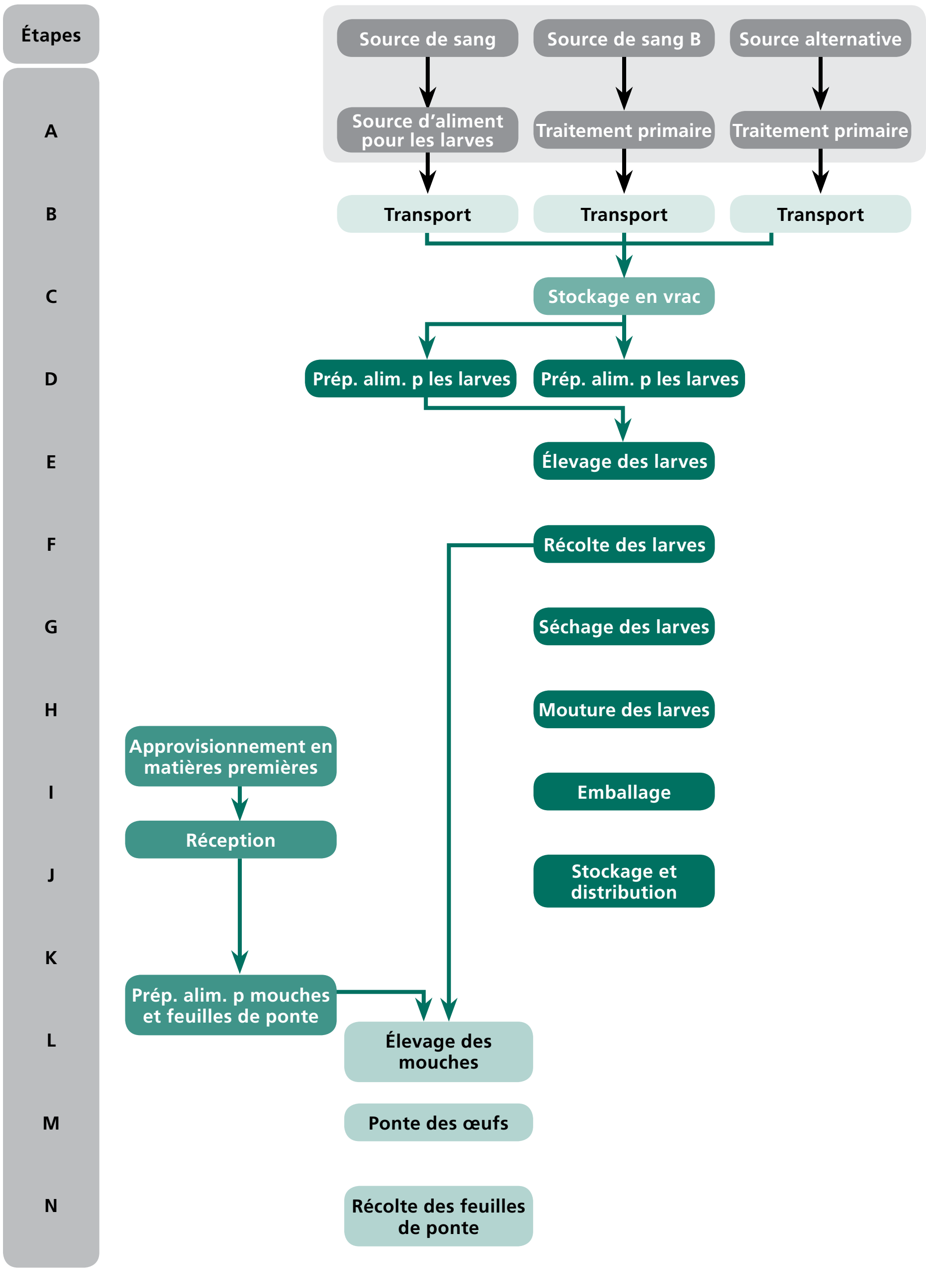
**Aspects importants de la production en masse des insectes comestibles**

| | |
|---|---|
| **Standardisation** | Les méthodes de transformation doivent être contrôlées de façon homogène |
| **Législation** | Des règles et des directives doivent être élaborées pour les producteurs. Ceci inclut la filière alimentaire et ses normes (par exemple, aucun déchet ne doit être utilisé dans l'Union européenne) ainsi que d'autres aspects tels que le bien-être des insectes, la sécurité biologique en terme d'évasions d'insectes, la gestion des maladies, etc. |
| **Durée de stockage** | Le produit final doit être facile à stocker et avoir de préférence une longue durée de stockage |
| **Transport** | Le produit final doit être facile à transporter |
| **Équilibre entre qualité et sécurité** | Durant la transformation la qualité (nutritionnelle) doit être maintenue ou accrue |
| **Coûts** | Le produit doit être compatible avec les produits alternatifs disponibles sur le marché |

### 9.2.1 Exemples d'élevages industriels d'insectes

AgriProtein (Afrique du Sud) et Enviroflight (États-Unis) sont des exemples de compagnies qui développent l'élevage des insectes à l'échelle industrielle.

FIGURE 9.1
**AgriProtein: Procédé de production de protéines de mouche**

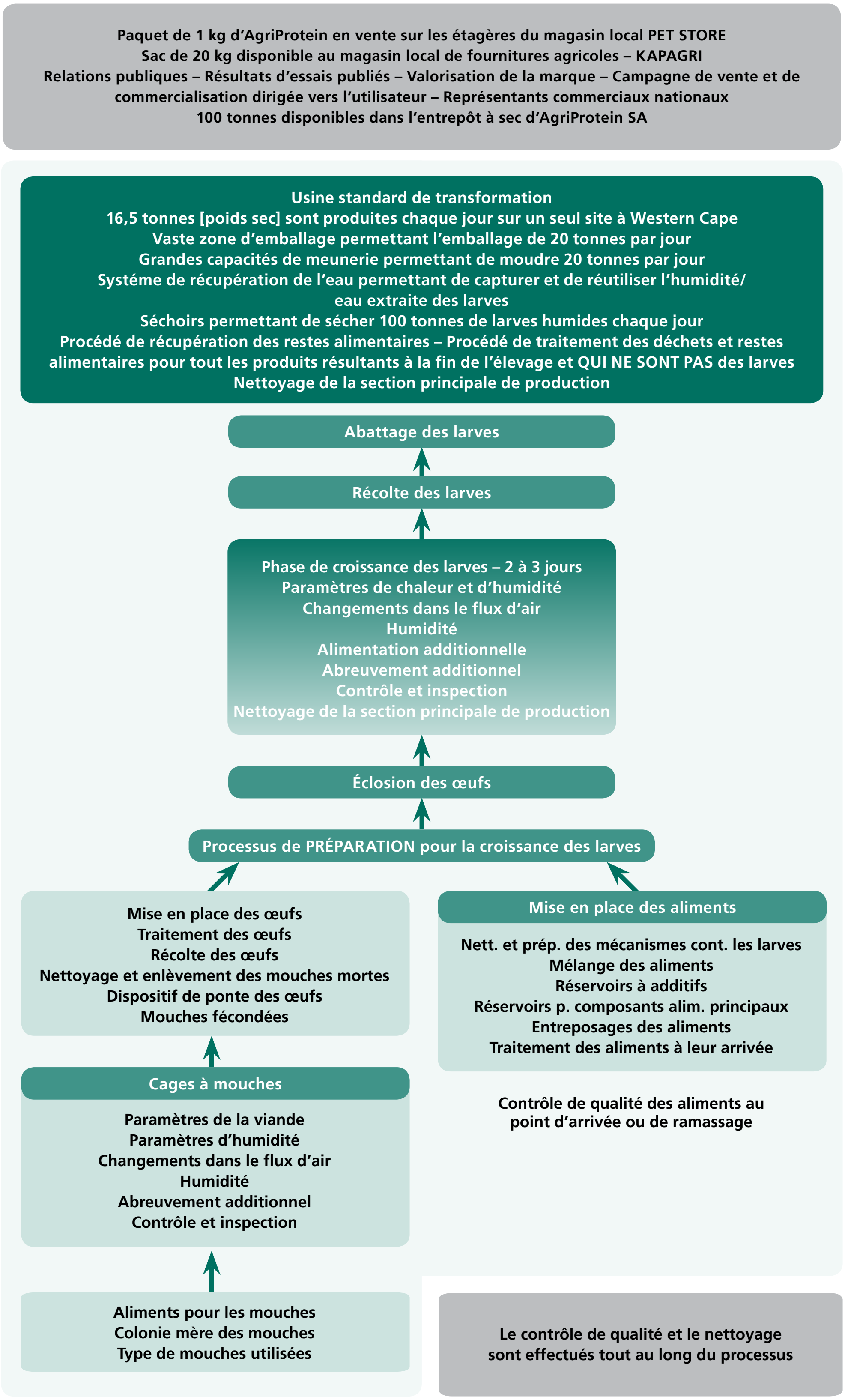



*Source:* d'après AgriProtein, 2012.

### *AgriProtein*

La perspective de fermes d'élevage et de transformation des insectes pour l'alimentation animale devrait bientôt devenir une réalité globale en raison de la demande croissante en sources alimentaires durables. AgriProtein ouvre la voie à une nouvelle industrie de recyclage des nutriments, qui utilise les déchets organiques pour créer des protéines qui contribueront à satisfaire la demande croissante en aliments pour animaux. C'est un projet global qui se concentre sur la production de poisson et de viande pour nourrir une population mondiale croissante. En utilisant des asticots de mouche domestique nourris

FIGURE 9.2
**AgriProtein: Chaîne de valeur/production**




*Source:* AgriProtein, 2012.

sur d'abondants déchets nutritifs, AgriProtein a développé et testé à grande échelle une nouvelle source de protéines potentiellement durable. Le processus de conversion biologique utilise des déchets de faible coût et crée un produit de valeur.

Le processus de production commence par l'élevage d'un cheptel de mouches dans des cages stériles, chacune contenant plus de 750000 mouches. Différents types de déchets sont utilisés, y compris les déchets humains (fèces), du sang provenant des abattoirs et les restes alimentaires. En fonction des espèces, une seule mouche femelle peut pondre jusqu'à 1000 œufs sur une période de sept jours, à l'issue de laquelle ils éclosent d'un asticot. Les asticots de la mouche domestique passent par trois stades larvaires sur une période de 72 heures et sont récoltés juste avant la pupaison. Les asticots récoltés sont séchés sur un séchoir à lit fluidisé, moulus sous forme de flocons et emballés suivant les préférences des consommateurs.

Le produit contient neuf acides aminés essentiels, avec des teneurs élevées en cystine, et des teneurs en lysine, méthionine, thréonine et tryptophane similaires à celles de la farine de poisson. Les gros utilisateurs potentiels devraient avoir besoin de très grandes quantités du produit – certains producteurs d'aliments pour animaux de compagnie pourraient en utiliser plus de 1000 tonnes par semaine.

La compagnie a commencé en produisant de petites quantités en laboratoire, mais, ces dernières années, la production a augmenté jusqu'à plusieurs centaines de kg par jour, et devrait prochainement atteindre une tonne par jour ouvré. Le but final est d'atteindre 100 tonnes d'asticots par jour. La première grande usine nécessiterait un investissement de 8 millions dollars EU et il est planifié de mettre le produit sur les marchés des pays suivants: Allemagne, Afrique du Sud, Royaume-Uni et Irlande du Nord ainsi que États-Unis (Figures 9.1 et 9.2) (AgriProtein, 2012).

***Enviroflight***

Enviroflight est un autre producteur d'insectes pour l'alimentation animale. L'objectif d'Enviroflight est de produire des protéines animales et végétales pour confectionner des aliments pour l'aquaculture.

Enviroflight utilise des drêches sèches de distillerie, des parties solubles dans l'éthanol de végétaux et des résidus de brasserie. Les mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) se nourrissent sur ces déchets et en assurent la conversion biologique. Ce faisant, leurs déjections deviennent un aliment riche en protéines, pauvre en matières grasses, pour les tilapias, les crevettes d'eau douce, les poissons-chats et d'autres espèces omnivores. Cet aliment est aussi bénéfique comme source de protéines pour les porcs et le bétail.

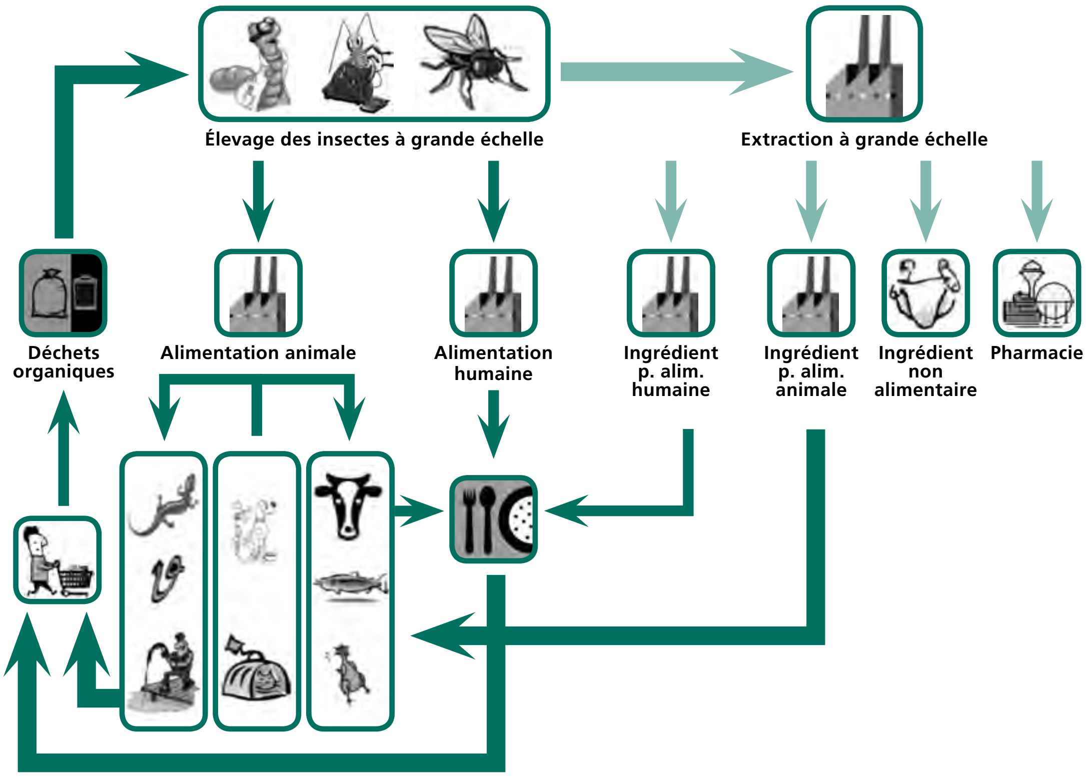
Les asticots sont utilisés comme ingrédient riche en protéines et en matières grasses pour les poissons carnivores, tels que la truite arc-en-ciel, la perche, le black-bass et le crapet arlequin. Les asticots sont cuits, séchés et convertis en une farine contenant 42 pour cent de protéines et 36 pour cent de matières grasses. Les huiles peuvent être extraites, ce qui fait grimper la teneur en protéines à plus de 60 pour cent. Enviroflight a développé et testé de nombreuses formules alimentaires utilisant des farines d'insectes et d'autres ingrédients disponibles localement pour réaliser des aliments complets pour de nombreuses espèces de poissons.

Un élément clef du procédé est qu'il prévient la création d'ammoniaque dans les déjections en les stabilisant immédiatement après que les asticots aient consommé les drèches de distillerie ou de brasserie. Cela permet de maintenir l'azote fixé et d'éliminer les odeurs; cela limite aussi la formation de moisissures et de mycotoxines. Les déjections sont aussi intéressantes comme engrais animal naturellement sûr. Les niveaux d'azote, de phosphore et de potassium sont respectivement de 5, 3 et 2 pour cent, ce qui est très bon pour la croissance des plantes.

L'ensemble comporte un système exclusif de bioréacteur et une enceinte d'élevage. Il a été conçu pour être installé n'importe où dans le monde et il peut être optimisé pour les pays en développement. Les enceintes d'élevage sont capables de permettre les

accouplements et les pontes sous tous les climats. De ce fait, une source continue d'œufs est possible dans toutes les conditions climatiques (G. Courtright, communication personnelle, 2012).

FIGURE 9.3
**Les insectes comme chaînon manquant: L'écologie détermine une économie circulaire**




*Source:* M. Peters, communication personnelle, 2012.

### 9.2.2 Transformation des insectes à échelle industrielle pour la production d'aliments pour les hommes et pour les animaux aux Pays-Bas

Les Pays-Bas développent une filière innovante d'approvisionnement qui comprend des unités d'élevage des insectes à grande échelle et de commercialisation des produits dérivés des insectes pour l'alimentation des hommes et des animaux. Les instituts de recherche appuient ce processus de développement.

Les principes de l'économie circulaire et les théories de l'économie environnementale (Encadré 9.2) sont fondés sur les interrelations entre l'environnement, l'économie et la future raréfaction d'une nourriture suffisante, nutritive et saine. Le modèle de filière d'approvisionnement en insectes est circulaire (Encadré 9.3). Il est basé sur l'élevage des insectes sur déchets organiques, et sur l'utilisation de ces insectes comme ingrédients dans l'alimentation humaine et animale. Ceci intervient dans un contexte de demande croissante en protéines animales, des effets secondaires négatifs de la production conventionnelle de viande et du problème croissant de l'élimination des déchets.

Les partenaires de la filière d'approvisionnement, les instituts scientifiques, les ONG et les organes gouvernementaux nationaux et régionaux ont une marche à suivre pour créer une «filière insectes» prospère en 2020 (Figure 9.3). Le but pour 2020 est d'introduire des insectes d'élevage comme ingrédients dans l'alimentation humaine et animale.

ENCADRÉ 9.2

**Économie de l'environnement**

Balasubramanian (1984) a constaté que «l'économie n'est plus seulement une science de la production et de la distribution, elle a à prendre en compte les répercussions écologiques des activités économiques qui pourraient affecter à la fois la production et la distribution». Ainsi, l'économie ne devrait pas seulement être l'étude de comment les biens et les services sont produits; elle doit prendre en considération les impacts de l'utilisation des ressources sur l'environnement. Toute étude du contenu économique de la production, de la distribution et du développement ne peut pas être complète si elle ne traite pas, entre autres, des questions d'externalités, de pollution, de dégâts, d'épuisement et de raréfaction. L'économie de l'environnement peut être définie comme «cette part de l'économie qui traite des interrelations entre l'environnement et le développement économique et étudie les voies et les moyens par lesquels ni le premier n'est détérioré, ni le second n'est entravé» (Sankar, 2001). C'est donc une branche de l'économie qui discute des impacts et interactions entre les hommes et la nature et trouve les solutions humaines pour maintenir l'harmonie. Les insectes pourraient jouer un rôle important dans la découverte de telles solutions.

ENCADRÉ 9.3

**Application du concept «insectes comestibles»: les insectes comme chaînon manquant dans la conception d'une économie circulaire**[12]

Pour satisfaire la demande croissante en protéines suffisantes, accessibles et durables, les innovations suivantes sont proposées:

- **Les insectes comme convertisseurs biologiques.** Les industries des aliments pour animaux, de l'alimentation humaine et les industries pharmaceutiques utilisent des ingrédients issus d'insectes élevés sur déchets organiques. Il existe des possibilités de transformation des insectes pour des applications médicales, les cosmétiques, l'alcool, etc.
- **Modèles alternatifs pour un secteur agricole viable et durable.** Le secteur agricole est sous pression pour obtenir de meilleurs rendements avec moins d'intrants. De plus en plus de compagnies sont amenées à cesser toute production car elles ne peuvent pas affronter cette compétition, alors que l'augmentation d'échelle n'est pas envisageable. Les insectes élevés sur déchets organiques peuvent être une alternative viable et attractive pour les entrepreneurs.
- **Opportunités pour les entrepreneurs modernes et novateurs.** Les Pays-Bas sont les leaders mondiaux dans le domaine des sciences de la vie et ont de nombreux entrepreneurs ayant les connaissances pertinentes. Ces entrepreneurs peuvent jouer un rôle de premier plan dans le développement du secteur.

La commercialisation des produits dérivés des insectes dépend des conditions suivantes:

- production de grands volumes assurée;
- prix du marché raisonnables et compétitifs;
- résolution des obstacles législatifs;
- autorisation d'utiliser les déchets (organiques) et les sous-produits des filières agroalimentaires.

Les défis majeurs sont:

- **Augmentation d'échelle.** Des unités de production à grande échelle seront nécessaires pour réduire les coûts. Les produits issus des insectes sont actuellement substantiellement plus chers que les produits carnés habituels. Les vers de farine coûtent approximativement

*Suite page suivante*

*Encadré 9.3 (suite)*

trois fois plus cher que le porc et environ cinq fois plus que le poulet. Les principales questions à résoudre sont le coût de la main-d'œuvre et comment accroître la compétitivité des produits à base de protéines animales alternatives. L'utilisation des insectes dans l'alimentation animale en Europe revient à environ 100 € pour 100 kg. Une attention particulière devra être portée à l'augmentation de l'automatisation et de la mécanisation des procédés pour l'obtention des produits finis (p. ex. de la farine d'insectes plutôt que des insectes entiers).

- **Amélioration de l'acceptation des produits par le marché et les consommateurs.** Le facteur critique est l'élaboration de concepts de marché et d'arguments commerciaux pour les aliments destinés à l'homme et aux animaux en collaboration étroite avec les partenaires de la filière d'approvisionnement. L'entraînement du marché est nécessaire pour créer un plus grand débit des fermes d'élevage d'insectes et leur permettre d'investir dans l'agrandissement de leurs installations.
- **Cadres législatifs nationaux et internationaux.** Les cadres légaux doivent permettre l'utilisation des insectes comme ingrédients dans les aliments pour l'homme et pour les animaux. L'utilisation des déchets organiques comme ingrédients alimentaires pour nourrir les insectes est une autre préoccupation législative. L'approbation par l'Union européenne dans le cadre du «Règlement relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires» est une procédure chère et longue. Pour l'instant, la législation ne permet pas l'utilisation d'extraits de protéines d'insectes. Le règlement européen relatif aux encéphalopathies spongiformes transmissibles bloque également l'introduction des insectes comme ingrédients dans les aliments pour animaux.
- **Élaboration de nouveaux modèles de coopération et de financement.** L'installation d'équipements de production à grande échelle, la collaboration préconcurrentielle et les approches innovatrices pour l'acceptation des produits par le marché, ainsi que de nouvelles formes de financement, sont nécessaires pour la mise en place de ce nouveau secteur.

---

[12] Encadré rédigé par Marian Peters de Venik.

# 10. Sécurité des aliments et conservation

La sécurité, la préparation et la conservation des aliments sont étroitement liées. Les insectes, comme beaucoup de produits carnés, sont riches en nutriments et ont un fort taux d'humidité, ce qui constitue un milieu favorable pour les micro-organismes et leur prolifération (Klunder *et al*., 2012). Les méthodes traditionnelles de préparation, telles que la cuisson par ébullition, par rôtissage et par friture, sont souvent utilisées pour améliorer le goût et l'appétence des insectes comestibles, et ont l'avantage additionnel d'assurer la sécurité de l'aliment. Les préférences culturelles et organoleptiques (sensorielles) jouent des rôles importants dans le choix des méthodes de conservation. Bien qu'une grande diversité de méthodes modernes de conservation soit disponible, des mesures spécifiques pour s'assurer d'un aliment sûr et de grande qualité peuvent être nécessaires pour différentes espèces d'insectes, en fonction de leur constitution biologique. La détermination des méthodes optimales de conservation sera un facteur critique pour la commercialisation des insectes comestibles à l'échelle mondiale, que ce soit pour l'alimentation humaine ou animale. Ce chapitre se concentre principalement sur l'alimentation humaine; cependant, les mêmes considérations s'appliquent également à l'alimentation animale.

Le système d'Analyse des dangers/points critiques, pour leur maîtrise (HACCP), est un outil systématique à base scientifique qui identifie les dangers spécifiques et établit des systèmes de contrôle pour assurer la sécurité des aliments (FAO/WHO, 2001a). Par nature, il est préventif, plutôt que de s'appuyer principalement sur des tests des produits finis. Le HACCP est reconnu dans le monde entier comme un système de garantie de la qualité, identifiant, évaluant et contrôlant les risques physiques, chimiques et biologiques tout au long du processus de production. Le système peut être appliqué tout au long de la filière alimentaire, de la production primaire à la consommation finale.

Tout en améliorant la sécurité des aliments, la mise en œuvre du HACCP peut aider aux inspections par les autorités de régulation et à la promotion du commerce international en augmentant la confiance dans la sécurité des aliments. Pour ces raisons, l'adoption du HACCP tout au long de la chaîne d'approvisionnement de la filière «insectes» sera un facteur déterminant pour le succès et le développement du secteur des insectes comestibles. Selon la FAO, «tout système HACCP est capable de s'adapter aux changements, tels que les progrès dans la conception des équipements, les méthodes de fabrication ou les développements technologiques» (FAO/IAEA, 2001).

Bien qu'il ait été établi qu'aucun problème significatif de santé ne soit apparu suite à la consommation d'insectes comestibles (Banjo, Lawal et Songonuga, 2006b), la confiance des consommateurs est sans conteste fortement corrélée à la sécurité perçue d'un produit donné. Dans cet esprit, l'application de pesticides sur des insectes destinés au secteur alimentaire soulève des questions essentielles, à la fois pour la sécurité nutritionnelle et pour leur participation au commerce mondial. Il est bien établi que les espèces capturées dans les champs, par exemple, ont plus de risques de contenir des pesticides ou des métaux lourds que celles qui ont été capturées en forêt dense. Dans les chapulines (*Sphenarium purpurascens*) – des sauterelles rouges typiquement récoltées dans des régions comme Oaxaca au Mexique – il a été relevé de fortes teneurs en plomb provenant des mines voisines (Handley, 2007). De nombreux pays en Afrique n'ont aucune politique régulant l'utilisation des produits chimiques dans les champs, dans des zones où les villageois récoltent des insectes comestibles. La plupart du temps, ces récoltes ont lieu sans qu'il

y ait la moindre connaissance sur les conséquences de la consommation d'insectes traités par des produits chimiques (Ayieko *et al.*, 2012) (pour plus d'information sur ce sujet voir le chapitre 12). Cependant, les questions de sécurité des aliments ne sont pas importantes uniquement pour les insectes récoltés dans la nature, elles le sont aussi pour les insectes d'élevage.

## 10.1 ENTREPOSAGE ET CONSERVATION

Les insectes sont souvent consommés rapidement après la récolte. Certains insectes sont commercialisés et transportés à l'intérieur du pays ou au-delà des frontières nationales pour la vente sur des marchés éloignés; ce n'est pas rare, par exemple, entre la République démocratique populaire lao et la Thaïlande. Les insectes vivants sont transportés, après lavage, dans des glacières, juste après la récolte. La réfrigération est aussi recommandée pour les insectes fris ou bouillis.

Les insectes peuvent être conservés et commercialisés après séchage (au soleil) – une méthode typique utilisée, par exemple, pour la chenille mopane (Allotey et Mpuchane, 2003) (Encadré 10.1). Le climat sec, que l'on trouve typiquement dans les endroits où le séchage au soleil est une méthode répandue, limite la croissance de la plupart des micro-organismes. Dans les zones humides, toutefois, les chenilles, même séchées au soleil, craignent l'humidité qui peut stimuler la croissance des microbes. Les insectes peuvent être recontaminés pendant le séchage par l'air ou le sol; pour cette raison, l'application de mesures hygiéniques lors des opérations est très cruciale et une étape supplémentaire de chauffage/refroidissement est recommandée avant consommation (Amadi *et al.*, 2005; Giaccone, 2005).

ENCADRÉ 10.1

**Préparation de la chenille mopane pour la consommation humaine**

Des précautions doivent être prises pour éviter les contaminations tout au long des différentes étapes de la préparation pour garantir un produit sûr.

***Purge***

- S'assurer que des trous ont bien été creusés pour y déverser le contenu des tubes digestifs.
- Recouvrir les trous, juste après la purge.

**Séchage**

- Faire bouillir les sacs (en toile de jute ou en polypropylène) pendant au moins 30 minutes et les faire sécher au soleil pendant au moins 2 heures avant de les utiliser sur le terrain.

**Entreposage**

- S'assurer que les sacs sont propres et désinfectés avant d'y introduire les chenilles.
- S'assurer que les sacs sont immédiatement liés à l'aide d'une corde et que les bords sont cousus. Ils seront alors recouverts d'une feuille de polyéthylène et disposés sur une plate-forme surélevée pour éviter les infestations croisées de l'environnement voisin et la réhumidification des sacs par le sol.

*Source:* d'après Allotey et Mpuchane, 2003.

Dans de nombreuses régions du monde, des insectes «prêts à être consommés» sont souvent vendus sur les marchés locaux, après rôtissage ou friture. Dans ce cas, une manipulation hygiénique est aussi importante pour prévenir le risque de recontamination et de contaminations croisées. À la maison, les insectes frais doivent être préparés de façon

hygiénique et suffisamment cuits pour assurer la sécurité microbiologique de l'aliment. D'autres méthodes simples de conservation, telles que l'acidification des insectes à l'aide de vinaigre, se sont révélées efficaces. Un autre exemple est l'utilisation d'insectes pour l'enrichissement en protéines de produits alimentaires fermentés. C'est une option valable de préparation aux bénéfices mutuels, car la chute du pH dans les produits ayant subi une fermentation lactique, empêche la croissance de micro-organismes potentiellement dangereux (Klunker *et al.*, 2012).

La préparation et la commercialisation des insectes ont connu un certain succès aux Pays-Bas. Trois espèces d'insectes (le ver de farine, le petit ver de farine et le criquet migrateur), spécialement produites et préparées pour la consommation humaine, peuvent être trouvées dans les boutiques spécialisées du pays. Un jour de jeûne est imposé aux insectes pour s'assurer que leur système digestif soit vide (purge), et ils sont ensuite lyophilisés entiers. Ce procédé donne un produit sûr avec une durée de conservation relativement longue (un an), s'il est entreposé correctement dans un endroit frais et sec. Les avantages complémentaires de la lyophilisation sont la conservation de la valeur nutritionnelle des insectes, et la capacité du produit de se réhydrater. Néanmoins, des difficultés persistent: la lyophilisation coûte cher et il s'ensuit souvent des oxydations indésirables des longues chaînes d'acides gras insaturés, dégradant la valeur nutritionnelle du produit et provoquant des odeurs et des goûts rances.

Une quantité d'autres méthodes contemporaines de conservation doivent être étudiées comme l'exposition à la lumière ultraviolette et le traitement par hautes pressions, ainsi que les méthodes adéquates d'emballage. D'autres critères importants doivent être pris en compte pour choisir les méthodes de conservation: la possibilité de prolonger la durée de conservation (et parallèlement de contenir les coûts), particulièrement si de grandes quantités d'insectes doivent être traitées simultanément; dans quelle mesure le procédé conserve la valeur nutritionnelle des insectes et; l'acceptabilité culturelle des méthodes de préparation et de conservation choisies.

## 10.2 CARACTÉRISTIQUES DES INSECTES ET COMPOSÉS ANTIMICROBIENS

Plusieurs questions liées à la sécurité alimentaire sont particulières aux insectes en raison de leur composition biologique: sécurité microbienne; toxicité; inacceptabilité gustative; composés inorganiques; et l'utilisation de déchets comme aliments pour les insectes.

Les aliments pour animaux à base d'insectes élevés sur du fumier ou des déchets organiques suscitent des inquiétudes relatives aux problèmes bactériologiques, mycologiques et toxicologiques. Bien que certains aient été mentionnés dans la littérature (Téguia, Mpoame et Okourou, 2002; Awoniyi, Adetuyi et Akinyosoye, 2004), ils n'ont toujours pas été étudiés suffisamment (voir la section 5.2). La question est de savoir si et jusqu'à quel point les insectes hébergent des organismes pathogènes et des substances toxiques provenant du fumier et des déchets organiques.

### 10.2.1 Sécurité microbienne

Les insectes peuvent avoir des micro-organismes associés qui peuvent influer sur leur sécurité comme aliments. Les insectes récoltés dans la nature de même que les insectes d'élevage peuvent être infectés par des micro-organismes pathogènes, tels que bactéries, virus, champignons, protozoaires et autres (Vega et Kaya, 2012). De telles infections peuvent être communes. En général, les pathogènes des insectes sont taxonomiquement distincts des pathogènes des vertébrés et peuvent être considérés comme inoffensifs pour les humains. Même dans le genre *Bacillus* le pathogène des insectes *B. thuringiensis* et le pathogène des vertébrés *B. anthracis* semblent avoir des cycles de vie qui ne se recouvrent pas (Jensen *et al.*, 1977). Les insectes ont aussi une grande diversité de micro-organismes associés dans leur flore intestinale. De même, ces organismes ne devraient pas être vus, en général, comme des pathogènes potentiels pour les humains. Enfin, des spores de divers micro-organismes peuvent être présentes sur la cuticule des

insectes, dont des micro-organismes qui peuvent se développer de façon saprophyte sur les produits à base d'insectes comestibles et ainsi contribuer à la dégradation de ces aliments. L'association micro-organismes-insectes ci-dessus mentionnée doit être, dans le cadre de la consommation alimentaire, considérée comme une contamination microbienne et traitée comme telle.

Dans la plupart des pays tropicaux, les insectes sont consommés entiers, y compris leur microflore intestinale. La chenille mopane fait exception, car elle est purgée (le tube digestif est vidé par pression du corps de la chenille entre deux doigts), ou mise à jeûner pendant un à deux jours, avant consommation. Ce procédé peut affecter la composition microbiologique d'un produit alimentaire à base d'insecte. Cependant les études existantes sur la sécurité microbienne des insectes comestibles se concentrent principalement sur les méthodes traditionnelles de récolte et de consommation des insectes, rendant difficile le décryptage des causes des infections. L'élevage des insectes peut permettre un meilleur contrôle des pratiques sanitaires et de la sécurité des sources d'aliments pour les insectes, limitant les risques microbiologiques potentiels.

La qualité sanitaire des chenilles mopane a été très étudiée en raison de sa consommation fréquente dans de nombreux pays africains (Mpuchane, Taligoola et Gashe, 1996; Allotey et Mpuchane, 2003). Une étude réalisée au Botswana s'est intéressée à la dégradation de la qualité des «phanes» (chenilles mopane: *Imbrasia belina*) séchées au soleil (p. ex. dégradation de la chair interne et changement de couleur dus au développement de moisissures et de cavités dans l'exosquelette chitineux). Les isolats fongiques les plus fréquemment trouvés appartenaient aux genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* et *Phycomycetes*. Les espèces ou lignées d'*Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* sont associées à la production de mycotoxines. Mpuchane, Taligoola et Gashe (1996) ont trouvé des niveaux d'aflatoxines variant de 0 à 50 µg par kg de produit; le niveau de sécurité établi par la FAO est de 20 µg par kg. La consommation fréquente pendant de longues périodes d'aliments infectés est susceptible d'induire des risques pour la santé. Bien que, dans cette étude, les chenilles aient été purgées, bouillies pendant 15-30 minutes et étalées sur des feuilles ou sur le sol pour 1 à 3 jours de séchage au soleil, il a été supposé que la contamination a été provoquée par les sources suivantes: apportée par l'eau de mauvaise qualité, par les insectes vecteurs (tels que les mouches et autres diptères) et par le sol. Pour maintenir la meilleure qualité sanitaire, l'étude a recommandé de sécher rapidement et régulièrement les chenilles après récolte, de les préparer et de les entreposer dans un endroit frais et sec.

En Afrique de l'Ouest, trois espèces de scarabées rhinocéros du genre *Oryctes* sont couramment consommées: *O. monoceros* et *O. owariensis*, dont les larves vivent dans les cocotiers et les palmiers à huile morts sur pied, et *O. boas*, que l'on trouve dans la végétation pourrissante et les tas de fumier. Parmi ces trois espèces de scarabées, des bactéries pathogènes ont été isolées d'*O. monoceros*, dont *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus*, qui peuvent présenter des risques pour les consommateurs (Banjo, Lawal et Adeyemi, 2006a). Cette contamination était peut-être due à la préparation et la manipulation peu soignées pendant la vente au détail et l'achat, ainsi qu'à l'exposition à l'air. Comme la consommation des scarabées contaminés par des bactéries pathogènes peut présenter des risques pour les consommateurs, il a été recommandé que les vendeurs détaillants de ces larves partiellement séchées et frites procèdent à un chauffage adéquat de ce produit afin d'éliminer les pathogènes.

L'importance de mesures hygiéniques lors de la manipulation et d'un entreposage correct a été soulignée par Klunder *et al.* (2012) lors d'expériences de laboratoire étudiant le contenu microbiologique de vers de farine (*Tenebrio molitor*) et de grillons domestiques (*Acheta domesticus*) d'élevage. Bouillir les insectes dans l'eau pendant quelques minutes permet d'éliminer les entérobactéries, mais des spores survivantes au traitement et conservant leur potentiel de germination ont été observées, avec le risque que ces spores germent et que les bactéries croissent si les conditions sont favorables, telles qu'une

température d'environ 30°C et un environnement humide, provoquant l'altération de la nourriture. Les bactéries sporulant, observées dans le tube digestif des insectes et sur leur cuticule, sont probablement venues du sol. Les méthodes alternatives de conservation n'utilisant pas de réfrigérateur sont le séchage et l'acidification. La fermentation lactique d'un aliment composé de mélanges farine/eau contenant 10 à 20 pour cent de larves de ver de farine grillées et réduites en poudre, a provoqué une bonne acidification qui s'est montrée efficace dans la préservation de la durée et la sécurité du stockage par le contrôle des entérobactéries et des spores bactériennes.

Des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées dans une autre expérience sur les cinq espèces d'insectes suivantes susceptibles d'être élevées: le ver de farine géant (*Zophobas morio*), le ver de farine (*Tenebrio molitor*), la fausse teigne de la cire (*Galleria melonella*), le ver de beurre (*Chilecomadia moorei*) et le grillon domestique (*Acheta domesticus*). Ni *Salmonella*, ni *Listeria monocytogenes* n'ont été identifiées dans les échantillons analysés et il en a été conclu qu'il était improbable que ces insectes attirent une flore microbienne qui soit dangereuse pour l'homme. Cependant, il est toujours recommandé que les insectes subissent un traitement qui rende inactif ou qui réduise leur charge microbienne. Ce traitement peut inclure la cuisson (p. ex. les faire bouillir ou rôtir) ou la pasteurisation (Giaccone, 2005).

À l'inverse de constituer un risque microbien potentiel, certains insectes comestibles sont réputés contenir des peptides antibactériens. Un nouveau peptide (Hf-1) extrait de l'asticot de la mouche domestique (*Musca domestica*), par exemple, s'est montré capable d'inhiber des lignées de pathogènes des aliments telles que *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis*. La présence de Hf-1, trouvé également dans le jus d'orange, suggère que l'insecte a du potentiel dans la conservation des aliments (Hou *et al*., 2007).

ENCADRÉ 10.2

**La punaise puante *Nezara robusta* en Afrique australe**

Les pentatomes sont largement consommés en Afrique australe. Parmi ceux-ci, la punaise puante *Nezara robusta* est trouvée communément dans les miombos (formations boisées à *Brachystegia*) et dans les plantations de gommiers bleus (*Eucalyptus globulus*). Comme son nom le suggère, la punaise dégage une odeur puissante. La punaise à bouclier, un autre type de pentatome, est trouvée à 1 200 m d'altitude en milieu ombragé, associée à des arbres tels que *Uapaca kirkiana*, *U. nitida*, *Brachystegia spiciformis* et *B. floribunda*.

Les femmes récoltent habituellement les punaises très tôt le matin, car dans ces conditions fraîches, les insectes étant des animaux à sang froid, sont immobiles et faciles à récolter. Les récolteuses frappent le tronc des arbres avec un rondin ou utilisent une longue tige de bambou équipée d'une poche attachée à une extrémité pour prélever les punaises dans les arbres. Les punaises récoltées sont transportées dans des paniers de bambou. Elles sont préparées pour la consommation par trempage dans de l'eau tiède, quoiqu'il faille faire attention car le jus amer des punaises tache les doigts en brun et peut devenir douloureux s'il entre en contact avec les yeux. Après trempage dans l'eau, la punaise éjecte ses jus amers et perd son odeur. La punaise n'est jamais trempée dans l'eau bouillante, car cela la tuerait immédiatement et provoquerait la rétention du poison. Après lavage, les punaises perdent leur coloration verte et deviennent jaune pâle doré. Elles sont alors cuisinées avec un peu d'eau et de sel. Elles sont consommées en amuse-gueule ou en accompagnement et le surplus est vendu dans les marchés locaux. L'eau utilisée pour laver les punaises est réputée être un pesticide utile contre les termites.

*Source:* Bodenheimer, 1951; Morris, 2004.

### 10.2.2 Toxicité

Certaines espèces d'insectes considérées toxiques sont consommées après que des mesures de précaution aient été prises (Encadré 10.2). Au Cameroun et au Nigéria, *Zonocerus variegatus* doit être préparé d'une certaine façon (Barreteau, 1999) en réchauffant les insectes dans de l'eau tiède puis en remplaçant l'eau avant cuisson (Morris, 2004). De façon semblable, la punaise puante *Encosternum* (= *Natalicola*) *delegorguei* au Zimbabwe et en Afrique du Sud excrète un fluide caustique (Faure, 1944; Bodenheimer, 1951) qui peut provoquer des douleurs sévères et même une cécité temporaire s'il entre en contact avec les yeux (Scholtz, 1984). Pour cette raison, les insectes sont consommés après qu'ils aient été débarrassés de ce liquide par pression sur leur thorax et immersion dans de l'eau tiède.

Dans la Carnia, région du nord-est de l'Italie, les enfants ont coutume de manger le jabot sucré d'un papillon vivement coloré du genre *Zygaena* (Zagrobelny *et al.*, 2009) (le jabot est une partie dilatée de l'œsophage chez de nombreux mollusques, insectes et oiseaux, qui sert à accumuler la nourriture, la garder et parfois en commencer la digestion). Les papillons contiennent des glucosides cyanogéniques, qui libèrent du cyanure d'hydrogène lors de leur dégradation. Ils contiennent de très petites quantités de substances toxiques, mais de grandes quantités de divers sucres. Les enfants récoltent les papillons au début de l'été lorsqu'il y en a beaucoup, les dissèquent eux-mêmes et ne consomment que les jabots.

Il y a peu de mentions, cependant, d'effets indésirables dus à la consommation d'insectes. Des cas de syndromes ataxiques, caractérisés par des tremblements, de l'ataxie et des troubles de la conscience de niveau variable, ont été signalés après la consommation de chenilles processionnaire du samba *Anaphe venata* dans le sud-ouest du Nigéria (Adamolekun, 1993; Adamolekun, McCandless et Butterworth, 1997). Des études plus approfondies ont indiqué que les réactions étaient très probablement liées à une sous-alimentation structurelle des consommateurs qui, étant marginalement déficients en thiamine en raison de leur régime alimentaire à base principalement de carbohydrates contenant des glucosides cyanogéniques bloquant la thiamine, souffrent d'une exacerbation saisonnière de leur déficience en thiamine due aux thiaminases présentes dans leurs aliments saisonniers. De même, ils ont souffert d'effets indésirables avec *A. venata*, qui contient de telles thiaminases.

Certaines caractéristiques des insectes comestibles peuvent parfois être dangereuses. Par exemple, la consommation de chenilles dont les poils contiennent des substances toxiques, peut être très dangereuse. Les poils doivent être enlevés par brûlage (Muyay, 1981).

### 10.2.3 Indigestibilité

Bouvier (1945) a observé, en République démocratique du Congo, que la consommation de sauterelles et de criquets avec leurs pattes provoquait des constipations dues aux grandes épines des tibias qui s'accrochent à la paroi intestinale. Après consommation par des humains, le seul remède est bien souvent chirurgical pour retirer les pattes de l'intestin. De même, dans l'est de Java en Indonésie, des patients qui avaient ingéré de grandes quantités de hannetons grillés (*Lepidiota* spp.) dont les restes chitineux indigestes s'étaient accumulés en diverses parties de l'intestin et avaient provoqué des occlusions totales, ont dû être opérés chirurgicalement (Kuyten, 1960). À la suite d'invasions de criquets, des nécropsies de singes morts ont montré que la consommation de criquets leur avait été fatale pour les mêmes raisons. L'étiquette du produit «Bugs Locusta» (des criquets migrateurs), vendu sur le marché hollandais, précise clairement que les pattes et les ailes des insectes doivent être enlevées avant consommation.

### 10.2.4 Contamination inorganique

Des métaux dangereux pour l'environnement ont été trouvés dans les cellules de différentes parties du corps des insectes – comme la graisse, le tégument (exosquelette), les organes reproducteurs et le système digestif – où ils sont bio-accumulés. Une étude sur les larves

du ver de farine (*Tenebrio molitor*), par exemple, a montré que ces insectes accumulent le cadmium et le plomb dans leur corps lorsqu'ils se nourrissent de matières organiques dans des sols contenant ces métaux (Vijver *et al.*, 2003). Cependant, Lindqvist et Block (1995) ont montré qu'après chaque mue, les larves perdent un peu de cadmium, et même de plus grandes quantités de métal sont perdues après la métamorphose. Des recherches plus approfondies sont nécessaires sur les conséquences que ceci pourrait avoir pour la consommation humaine.

Une autre question préoccupante est l'absorption de pesticides par les insectes comestibles tels que les criquets et les sauterelles, ce qui peut créer des problèmes s'ils sont consommés en grandes quantités. Ces risques constituent une préoccupation majeure dans le cas de consommation d'insectes récoltés traditionnellement dans la nature, où le contrôle des traitements chimiques est difficile (Encadré 10.3). L'élevage des insectes présente encore un autre bénéfice potentiel, car les risques chimiques peuvent être mieux contrôlés.

ENCADRÉ 10.3
**La noctuelle bogong en Australie**

Chaque printemps les noctuelles bogong (*Agrotis infusa*) quittent les plaines de l'est de l'Australie où leurs vers-gris ont prospéré, pour échapper aux conditions sévères de l'été. Elles migrent jusqu'à 1 000 km de distance, dans les Snowy Mountains et dans les Alpes du sud-est de l'Australie, où elles passent l'été en grands rassemblements dans des grottes et des anfractuosités entre les rochers à environ 1 200 m d'altitude. En automne, elles retournent dans les plaines. Lors de ces migrations, elles sont considérées comme une nuisance car elles sont attirées par les lumières des maisons et d'autres bâtiments, la nuit.

Il a été noté que les Aborigènes australiens récoltaient autrefois les noctuelles dans les Alpes en utilisant la chaleur et la fumée de leurs torches, une pratique aujourd'hui disparue. Ils se régalaient de ce délicieux aliment riche en protéines et en matières grasses.
Toutefois, une étude de Green *et al.* (2001) a montré que les insectes transportaient des doses subléthales d'arsenic qu'ils avaient absorbé dans les plaines à partir des plantes poussant dans des zones traitées avec des herbicides. L'arsenic se concentrait jusqu'à atteindre des niveaux dangereux sur les sites d'estivation (similaire à l'hibernation) dans les Alpes, en raison des millions de noctuelles qui se concentrent dans ces sites. De l'arsenic a également été détecté sur le sol des grottes et dans l'herbe des zones d'épandage en aval.

*Source:* Green *et al.*, 2001.

## 10.3 ALLERGIES

### 10.3.1 Réactions allergiques aux insectes comestibles

Comme la plupart des aliments contenant des protéines, les arthropodes peuvent induire des réactions allergiques chez les personnes sensibles (liées à l'immunoglobuline E: IgE). Ces allergènes peuvent provoquer eczéma, dermatite, rhinite, conjonctivite, congestion, angio-œdème et asthme bronchique. Alors que certaines personnes souffrent d'atopie (hypersensibilité allergique), il est aussi possible de développer une sensibilité allergique suite à une exposition prolongée. La majorité des cas sont dus à l'inhalation des allergènes ou à leur contact (Phillips et Burkholder, 1995; Barletta et Pini, 2003). Les réactions allergiques au venin des abeilles et des guêpes (allergènes injectés) sont bien connues.

Les individus en contact constant avec les insectes sont très vulnérables à de telles allergies, comme les entomologistes, les laborantins (travaillant principalement avec des coléoptères, des cafards, des criquets, des calliphores, des grillons, des papillons

ou des mouches) et les ouvriers agricoles et de l'industrie (travaillant principalement avec des bruches, des charançons du blé, des mouches du terreau, des moucherons, des mouches domestiques, des vers à soie et des appâts pour poisson tels que les asticots des mouches et les chenilles des papillons). Les façons de développer des réactions allergiques comprennent l'inhalation de poussières contenant des matières fécales de cafard et le contact de la peau avec les poils des chenilles. Des études suggèrent que les personnes fréquemment en contact avec les larves de *T. molitor*, par exemple, courent le risque de développer certaines réactions allergiques (Senti, Lundberg et Wüthrich, 2000; Siracusa *et al*., 2003). La même chose a été trouvée pour une espèce voisine *Alphitobius diaperinus*. Les symptômes des réactions allergiques comprennent l'inflammation des yeux et du nez (*T. molitor*), des démangeaisons, des enflures légères, l'inflammation du nez, de l'asthme et des éruptions cutanées (*A. diaperinus*) (Schroeckenstein *et al*., 1988; Schroeckenstein, Meier-Davis et Bush, 1990). Des réactivités croisées peuvent aussi apparaître entre les deux espèces, signifiant que les anticorps pour un allergène spécifique d'une espèce d'insecte sont capables d'identifier les allergènes d'une autre espèce et peuvent donc induire également une réaction allergique à cet autre insecte. Toutefois, la réactivité croisée n'est pas systématique; certaines personnes développent des réactions allergiques à un insecte spécifique avec peu de réactivité croisée avec d'autres insectes, en raison d'une exposition prolongée à de grandes quantités d'allergènes de cet insecte spécifique. Dans les élevages domestiques où plusieurs espèces d'insectes et d'autres arthropodes cohabitent, il est difficile de déterminer si une personne a des sensibilités multiples provoquées par tous les arthropodes ou une sensibilité allergique générale aux invertébrés (réactivité croisée) (Barletta et Pini, 2003). Les tropomyosines (des protéines de liaison à l'actine qui régulent les contractions musculaires) de cafards, d'acariens et de crevettes, sont mentionnées comme allergènes. Certains patients allergiques aux acariens de la poussière domestique, de plus en plus exposés aux antigènes d'acariens devinrent sensibles, par exemple, aux tropomyosines de crustacés (Reese, Ayuso et Lehrer, 1999). Ces découvertes suggèrent que les personnes allergiques aux crustacés, par exemple, pourraient subir des réactions allergiques lors de la consommation d'insectes comestibles.

Il existe un certain nombre de preuves d'allergies induites par l'ingestion d'insectes. Du fait que les larves d'abeilles domestiques contiennent du pollen, il est déconseillé, par exemple, aux personnes allergiques au pollen, d'en consommer (Chen *et al*., 1998). Des symptômes asthmatiques ont été observés après l'ingestion d'orthoptères (Auerswald et Lopata, 2005). Dans une étude réalisée en République démocratique populaire lao, une des personnes sondées, avec un passé de consommatrice d'insectes, a signalé avoir développé une allergie aux nèpes géantes, alors qu'une autre aurait développé une allergie à tous les insectes comestibles, ainsi qu'aux crevettes (J. Van Itterbeeeck, communication personnelle, 2012). Ceci soulève la question de la possibilité de développer des sensibilités par l'ingestion ou lors de la manipulation des insectes comestibles lors de la cuisson et de la consommation. Il est douteux que les méthodes de préparation, comme la cuisson dans l'eau bouillante, puissent détruire les composés allergisants (Phillips et Burkholder, 1995). Pour la grande majorité des personnes, cependant, la consommation des, et/ou l'exposition aux, insectes ne présentent pas de risque significatif de développer des réactions allergiques, particulièrement si les personnes n'ont aucun passé allergique aux insectes ou aux arthropodes acquis par une longue exposition à un allergène en quantités suffisantes.

### 10.3.2 Effets immunologiques de la chitine, un composant majeur de la cuticule des insectes

La chitine, le second polysaccharide le plus important dans la nature, contient de l'azote et se rencontre communément dans les organismes inférieurs tels que les champignons, les crustacés (p. ex. les crabes, les langoustes et les crevettes) et les insectes, mais pas chez les mammifères. Bien que les propriétés antivirales et antitumorales de la chitine et

de ses dérivés soient connues depuis un certain temps, les effets immunologiques n'ont été reconnus que récemment (Lee, Simpson et Wilson, 2008). Des études récentes ont montré que la chitine a des effets complexes et dépendants de la taille des particules sur les réponses immunitaires innées et adaptatives (Lee, Simpson et Wilson, 2008). Dans plusieurs études, il a été suggéré que la chitine était un allergène (Muzzarelli, 2010). Cependant, la chitine et son dérivé le chitosane (produit commercialement par désacétylation de la chitine), plutôt que d'agir comme allergènes, ont des propriétés qui pourraient améliorer la réponse immunitaire chez certains groupes particuliers de personnes (Goodman, 1989; Muzzarelli, 2010; H. Wichers, communication personnelle, 2012) (Encadré 10.4). Le fait d'induire chez l'hôte des résistances non spécifiques contre les infections par des bactéries pathogènes et des virus, indique que la chitine pourrait réduire les réactions allergiques chez certaines personnes. De plus, la chitine a démontré sa capacité potentielle à renforcer le fonctionnement du système immunitaire, la faisant une alternative prometteuse aux antibiotiques couramment utilisés dans l'élevage du bétail (H. Wichers, communication personnelle, 2012). L'utilisation de la chitine dans des applications médicales ou industrielles doit être étudiée davantage.

ENCADRÉ 10.4

**L'hypothèse allergie-hygiène**[13]

Les allergies sont un problème croissant au sein des populations occidentales, contrairement à celles des pays en développement où leur fréquence est beaucoup plus rare. L'hypothèse de l'hygiène propose que la fréquence élevée des allergies dans les populations occidentales est induite par un manque d'exposition à des pathogènes, dont les parasites intestinaux et à l'augmentation des vaccinations pendant l'enfance.

Les parasites contiennent, pour la plupart, de la chitine. L'hypothèse a été faite que les différences d'exposition à la chitine et aux parasites intestinaux pourraient expliquer les différences de fréquence des allergies entre les deux populations. La présence de chitinases dans les sucs gastriques humains a été interprétée comme une réponse aux infections parasitaires et liée aux réactions allergiques. Une étude de la réponse immunologique à la chitine et de son rôle potentiel d'induction de l'asthme et des allergies, a montré que les réponses semblaient dépendre de la taille des particules de chitine; en d'autres termes, les particules de chitine de taille moyenne induisent des réactions allergiques inflammatoires, alors que les particules de chitine de petite taille peuvent avoir des effets inverses en réduisant la réponse inflammatoire (Brinchmann *et al.*, 2011). Les conséquences sur la pathogénie de l'asthme et des allergies, dues à la consommation accrue de chitine suite à la promotion des insectes comestibles, sont imprévisibles. Cependant, si les allergies sont facilitées par un manque d'exposition aux substances chitineuses pendant l'enfance, comme cela a été suggéré, l'augmentation de la consommation d'insectes pendant la première enfance, pourrait, de surcroît, assurer une meilleure protection contre les allergies, plus tard dans la vie.

---

[13] Encadré rédigé par N. Roos.

*Source:* FAO/WUR, 2012.

# 11. Les insectes comestibles, moteurs de l'amélioration des moyens d'existence

Pour la plupart des personnes vivant en zones rurales, particulièrement les pauvres, les forêts et les arbres sont d'importantes sources de nourriture et de revenus. Environ 350 millions de personnes parmi les plus pauvres du monde – comprenant 60 millions de personnes des peuples indigènes – dépendent des forêts pour leur subsistance quotidienne et à long terme (FAO, 2012a). Les insectes sont une source majeure de protéines animales pour de nombreuses communautés et sont essentiels pour la diversification du régime alimentaire mais, dans la plupart des pays, manger les insectes n'est pas une question de survie, mais une question de choix personnel. En fait, la très grande majorité des insectes consommés le sont par choix et non par nécessité, et ils font partie de la culture locale. Néanmoins, les insectes fournissent de précieuses réserves de nourriture lors des pénuries saisonnières (Dufour, 1987). En plus de leur valeur alimentaire, les insectes sont une source de revenus supplémentaires pour les dépenses de première nécessité dont la nourriture, les fournitures agricoles et scolaires (Agea *et al.*, 2008; Hope *et al.*, 2009).

Dans certains endroits, la commercialisation des insectes est une source majeure de revenus et ce qui est récolté n'est pas totalement consommé par les récolteurs eux-mêmes. Les insectes fournissent d'importantes opportunités de subsistance pour de nombreuses populations dans les pays en développement, dont les éléments les plus pauvres de la société et spécialement les femmes et les enfants. Dans le contexte d'après Rio+20, l'économie «verte» avec la forêt – y compris les insectes – peut aider à réduire les asymétries et inégalités sociales, économiques et régionales qui prévalent dans de nombreuses régions du monde (FAO, 2012d). Ce chapitre examine en particulier le potentiel des insectes pour améliorer les régimes alimentaires locaux, pour contribuer au renforcement de l'accès aux ressources locales et des droits fonciers sur ces mêmes ressources, et pour fournir des opportunités d'amélioration des moyens d'existence des femmes. La contribution économique (vente et revenus en espèces) des insectes est présentée au chapitre 12.

## 11.1 LES INSECTES DANS LE SECTEUR DU MINI-ÉLEVAGE

Le secteur de l'élevage est primordial dans la fourniture de revenus et de moyens de subsistance pour des populations dans le monde et compte pour 40 pour cent du total du produit intérieur brut agricole (Steinfeld *et al.*, 2006). Cependant, malgré la demande croissante en produits animaux, l'élevage d'animaux autres que ceux des espèces classiques comme les porcs, les chèvres et les poulets, est souvent jugé insignifiant. Néanmoins, les mini-élevages (tel qu'ils ont été définis au chapitre 4), dont celui des insectes, peuvent être importants pour la diversification économique.

L'élevage des insectes qui peut être conduit en zones urbaines, péri-urbaines et rurales, constitue une excellente utilisation de l'espace (Oonincx et de Boer, 2012). Bien que quelques essais de domestication aient été faits pour certains insectes, la plupart des espèces, comme les mygales, ne peuvent qu'être récoltées dans la nature (C. Munke, communication personnelle, 2012). Les entreprises de mini-élevage sont avantageuses car les petits animaux (FAO, 2011b):

- demandent peu de place;
- n'entrent pas directement en compétition avec l'homme pour son alimentation;

- font l'objet d'une demande qui dépasse l'offre;
- ont des taux de reproduction élevés;
- créent des rentrées en espèces en un temps très court;
- ont, dans de nombreux cas, une forte, voire très forte, rentabilité économique;
- sont nourrissants et contribuent à l'alimentation humaine;
- convertissent efficacement leurs aliments en protéines;
- sont relativement faciles à gérer;
- sont facilement transportables;
- sont souvent faciles à élever et leur élevage ne nécessite pas de formation approfondie.

Les insectes, comme les autres petits animaux d'élevage contribuent à la diversification des marchés car ils peuvent être vendus aux consommateurs dans l'ensemble des zones rurales et urbaines. Dans de nombreux cas, les éleveurs ruraux vont vendre leur production dans leurs villages; cependant, du fait de leur transportabilité, les insectes peuvent facilement être apportés aux marchés urbains, par exemple, par bus, camion ou bicyclette. L'élevage des insectes peut être réalisé comme un complément au sein d'autres stratégies de subsistance. De plus, l'élevage des insectes peut être entrepris aussi bien par les propriétaires que par les personnes sans terres (FAO, 2011b) car peu d'espace est nécessaire.

Pour la production domestique, les insectes sont élevés dans un milieu contrôlé (élevage), et présentent l'assurance d'une production suivie qui peut garantir des revenus régulièrement distribués tout au long de l'année, un avantage par rapport aux insectes récoltés dans la nature qui sont souvent saisonniers. Pour de nombreux ménages, un revenu régulier permet de réaliser des économies et de payer des dépenses périodiques comme les frais scolaires (FAO, 2011b). Toutefois, la récolte d'insectes dans la nature ne devrait pas être négligée car elle peut elle aussi contribuer à la diversification des moyens de subsistance. On estime que dans certaines régions d'Afrique, par exemple, la consommation d'insectes fluctue entre 2 et 30 pour cent de la consommation annuelle de viande, en fonction de la disponibilité des insectes (FAO/WUR, 2012).

Dans de nombreux cas, le mini-élevage ne demande pas beaucoup de moyens; aussi peut-il être pratiqué par les femmes, les hommes, les personnes âgées et même les enfants. L'élevage des insectes et leur récolte dans la nature ne nécessitent généralement que peu d'investissement initial, suivi de petits investissements additionnels de fonctionnement, ce qui limite le risque économique. Les investissements dans les infrastructures comprennent des filets, des feuilles de plastique et des conteneurs (Hanboonsong, 2010). Ainsi, l'élevage et la capture des insectes peuvent contribuer positivement à l'implication et à la participation égalitaire à la croissance économique, particulièrement pour les groupes marginaux comme les gens sans terre.

## 11.2 AMÉLIORATION DES RÉGIMES ALIMENTAIRES DES POPULATIONS LOCALES

Les insectes récoltés par les populations locales sont pour la plupart destinés à la consommation personnelle, mais ceci dépend significativement du lieu et de l'espèce. Tout surplus sera vraisemblablement vendu sur les marchés locaux ou régionaux. En Papouasie (Province indonésienne), par exemple, les communautés indigènes consomment entre 60 et 100 espèces d'insectes comestibles pour diversifier leur régime alimentaire. Les surplus sont vendus sur les marchés, comme le charançon bleu-noir du palmier (*Rhynchophorus bilineatus*), qui est récolté sur le sagoutier (*Metroxylon sagu*). Les charançons du palmier sont les espèces d'insectes les plus consommées dans la région (Encadré 11.1). Le prix d'un sac contenant 100 à 120 larves rapporte 2,11 dollars EU sur les marchés locaux, ce qui correspond à la valeur de 20 œufs de poule et 3 kg de riz (Ramandey et Mastrigt, 2010). Néanmoins, certains insectes sont récoltés plus pour la vente commerciale que pour la consommation domestique. De plus, il y a bien plus de commercialisation d'insectes, quoique souvent informelle, que ce qui est connu ou documenté.

ENCADRÉ 11.1

**Le charançon asiatique du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) est une importante source de nourriture et de revenus en Nouvelle-Guinée**

Les populations rurales de l'île de Nouvelle-Guinée (Papouasie-Nouvelle-Guinée et Indonésie) ont développé une relation étroite avec les insectes. De nombreuses espèces font partie intégrale de leur régime de subsistance: larves et adultes de coléoptères (*Cerambycidae*, *Scarabaeidae* et *Curculionidae*); cigales (*Homoptera*); phasmes (*Phasmatodea*); termites (*Isoptera*); éphémères (*Ephemeroptera*); larves de guêpes (*Hymenoptera*); chenilles et papillons (*Lepidoptera*); larves de libellules (*Odonata*); sauterelles et criquets (*Orthoptera*); et de nombreuses espèces d'araignées (*Arachnida*). Cependant, la larve de charançon du palmier de Nouvelle-Guinée (*Rhynchophorus ferrugineus papuanus*), qui se développe dans le tronc des sagoutiers, est l'insecte le plus largement consommé dans l'île. Des fêtes spéciales sont organisées pour lesquelles de nombreux sagoutiers sont abattus pour récolter les larves du charançon. Élevées comme un sous-produit du sagou (une fécule préparée à partir des substances glucidiques contenues dans les troncs de certains palmiers, dont *Metroxylon rumphii*), les larves sont couramment disponibles sur les marchés dans toute l'île. Une étude a montré comment, au marché de Lae, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, les villageoises vendaient environ 40 larves (250 g) pour approximativement 1 dollar EU. Les acheteurs paient environ 0,50 dollar EU pour 12 à 15 larves grillées.

Les populations locales grillent, bouillent, rôtissent les larves et parfois enrichissent les crêpes de sagou avec les insectes, accroissant ainsi la valeur nutritionnelle de ces crêpes. Dans certaines parties de l'île, où le sagou est un aliment de base, la consommation des larves de charançon du palmier fournit aux populations les protéines dont elles ont grand besoin, car la fécule de sagou est pauvre en protéines. Selon l'OMS, chaque 100 g de larves de charançon contient 182 kilocalories, 6,1 pour cent de protéines, 13,1 pour cent de matières grasses, 9 pour cent de glucides, 4,3 mg de fer, 461 mg de calcium et en plus des vitamines et des minéraux.

*Source:* Mercer, 1997.

Bien que les insectes comestibles soient souvent consommés pour leur goût, ils peuvent aussi constituer des aliments en période de pénurie. Néanmoins, il faut souligner que la consommation d'insectes comme vivres d'urgence n'est pas la raison la plus fréquente de leur consommation. Une étude réalisée à Kinshasa en 2003 a constaté que 70 pour cent de la population de cette ville consommait des chenilles mopane pour leur valeur nutritionnelle et pour leur goût. Cependant, lors de périodes où les autres sources de protéines sont plus difficiles à trouver, les insectes prennent une place importante dans le régime alimentaire. En République centrafricaine, 95 pour cent des populations vivant en forêt dépendent des insectes pour leurs apports en protéines (FAO, 2004). Les insectes sont parfois les seules sources de protéines essentielles (acides aminés), de matières grasses, de vitamines et de minéraux pour les populations forestières.

Dans de nombreuses parties du monde, la consommation est saisonnière pour deux raisons: les populations locales se nourrissent de plantes disponibles de façon saisonnière; et le surplus n'est pas entreposé en raison du manque de méthodes de transformation et de conservation. En Afrique de l'Ouest et centrale, ainsi que dans certaines parties de l'Amazonie, la viande de brousse et le poisson sont rares durant la saison des pluies, et c'est à cette période que la consommation des insectes s'accroît considérablement (voir chapitre 2). Sans surprise, les insectes tendent à être plus abondants pendant la saison des pluies, où ils constituent une part précieuse dans les régimes alimentaires locaux et fournissent les nutriments essentiels.

## 11.3 ACCESSIBILITÉ ET DROITS DE PROPRIÉTÉ OU D'USUFRUIT SUR LE CAPITAL NATUREL

L'accès aux ressources naturelles est un facteur crucial pour l'amélioration des moyens d'existence. La récolte des insectes peut contribuer au renforcement des droits fonciers et de la responsabilité dans la conservation des ressources naturelles.

Les insectes fournissent une source de revenus facilement accessible dans de nombreuses zones rurales, particulièrement pour les femmes et les enfants qui sont typiquement impliqués dans leur récolte. Les insectes peuvent être directement et facilement récoltés dans la nature – avec des dépenses minimes (p. ex. équipement de base pour la récolte) – lorsque l'accès au site de récolte des insectes (terres agricoles ou forêts) n'est pas limité. Pour les éléments les plus vulnérables de la société, comme les peuples indigènes, les femmes et les personnes âgées, l'accès à la terre est un obstacle traditionnel au développement de leurs moyens de subsistance et peut ainsi constituer une barrière à l'encontre de la récolte des insectes. Les insectes peuvent généralement être récoltés dans les forêts publiques. Ceci rend cette activité beaucoup plus accessible que de nombreuses activités agricoles traditionnelles qui nécessitent un accès direct à la terre ou des droits fonciers. La récolte des insectes dans la nature peut être moins destructive des ressources forestières que la récolte des PFNL comme les plantes médicinales ou les rotins, qui nécessitent de tuer la plante hôte. Pour cette raison, la récolte des insectes devrait être reconnue comme un élément important dans la recherche de la sécurité alimentaire, si toutefois, elle est réalisée de façon durable.

La disponibilité réduite des insectes comestibles rend leur récolte plus difficile, ce qui entraîne une baisse de la consommation et du commerce des insectes. Pour cette raison, des mesures de conservation et de gestion doivent être mises en œuvre pour protéger les insectes et leurs environnements (Yhoung-Aree, 2010) (voir la section 4.3). Les autorités locales devraient reconnaître la contribution de la récolte des insectes aux moyens de subsistance des populations locales. Lorsque les populations locales voient les bénéfices qu'elles peuvent tirer de la gestion participative des ressources naturelles, elles sont plus motivées pour la protection des espaces (y compris forestiers) où les insectes sont récoltés et plus désireuses d'y participer.

Alors que la surexploitation et les prélèvements excessifs sont inquiétants, il y a peu de cas étudiés où la collecte a réduit la population d'arthropodes (Encadré 11.2). Dans certains cas de prélèvements excessifs allégués, il a été réalisé, plus tard, que le déclin observé faisait partie des fluctuations et cycles naturels des populations d'insectes. Il y a aussi un risque que, l'élevage pouvant produire de plus grands volumes que la récolte, les récolteurs soient privés de leurs moyens de subsistance.

ENCADRÉ 11.2

**Araignées cambodgiennes**

La vente d'araignées est une importante source de revenus pour de nombreux agriculteurs au Cambodge, qui gagnent en moyenne 2 dollars EU par jour. Une espèce de mygale, *Haplopelma albostriatum* (Mygale zébrée de Thaïlande), appelée localement a-ping, est typiquement servie frite et vendue sur les stands de rue au marché Kampong Thom de Skuon, ou dans les restaurants de la capitale, Phnom Penh. Les araignées sont récoltées durant la journée en forêt ou dans les plantations d'anacardiers (noix de cajou). Les vendeurs achètent les araignées vivantes aux récolteurs qui les ont trouvées et extraites de leurs terriers, vendant jusqu'à 100 – 200 araignées par jour. Dans le seul village de Skuon, il y a environ 12 vendeurs. Il est à craindre que ces araignées soient récoltées jusqu'à l'extinction. Les vendeurs signalent le déclin rapide du nombre des araignées capturées et blâment les agriculteurs de brûler et défricher la forêt (Yen, Hanboonsong et van Huis, 2013).

## 11.4 RÔLE DES FEMMES

Les communautés rurales dans les pays en développement – principalement les éléments les plus pauvres de la société, comme les femmes et les peuples indigènes – dépendent fortement des ressources naturelles, y compris des insectes, qui agissent comme un amortisseur contre la pauvreté (Encadré 11.3). En Afrique du Sud, par exemple, une étude sur l'utilisation d'une gamme de bioressources par 110 familles dans la Province du Limpopo, a trouvé que l'utilisation des ressources naturelles dont des herbes sauvages et des fruits ainsi que des insectes comestibles était importante chez les familles pauvres (Twine *et al.*, 2003). Cependant, l'accès aux ressources naturelles est parfois limité pour des raisons historiques et culturelles. Par exemple, bien que de nombreux pays aient étendu aux femmes les droits légaux d'héritage, les coutumes et l'incapacité des femmes à faire valoir leurs droits rendent problématiques les droits de propriété sur la terre. L'accès équitable aux ressources naturelles locales et par extension aux aliments récoltés dans la nature, y compris les insectes, reste un facteur clef pour assurer la sécurité alimentaire.

ENCADRÉ 11.3

**Consommation d'insectes comestibles et populations autochtones**

Les peuples indigènes vivent en symbiose avec leur environnement naturel et sont fortement dépendants des ressources naturelles pour leurs moyens d'existence. Pour cette raison, ils ont une connaissance ancestrale de comment et où trouver les insectes et des différentes méthodes de préparation. Ces savoirs sont particulièrement importants en période de pénurie alimentaire (Ramos Elorduy, 1984).

En Australie, les «aliments de brousse», dont les insectes, sont très prisés par les Aborigènes. Ils sont toujours récoltés et perçus comme une partie intégrante de leur culture. Certains des insectes les mieux connus qu'ils consomment traditionnellement sont des larves comestibles de coléoptères, des chenilles (chenilles du witchetty), des fourmis-pot-de-miel, des cochenilles, des lerps et des noctuelles Bogong, *Agrotis infusa* (Yen, 2005).

En plus des chenilles, les fourmis-pot-de-miel ont été traditionnellement une part importante des cultures locales, et sont généralement récoltées par les femmes et les enfants (Yen, 2010). Les fourmis-pot-de-miel étaient une source saisonnière majeure de glucides pour les indigènes australiens et constitue également une réserve alimentaire vivante pour les autres fourmis de la colonie. Elles sont suspendues au plafond des chambres souterraines, et sont gavées de nourriture par les fourmis ouvrières. La nourriture est accumulée dans l'abdomen qui est distendu jusqu'à atteindre plusieurs fois sa taille normale. La fourmi reste suspendue, parfois pendant des mois, jusqu'à ce que la colonie ait besoin des aliments ainsi entreposés. Après stimulation, la fourmi régurgite le miel sucré.

Les femmes sont le pivot de l'économie rurale, surtout dans les pays en développement. Toutefois, elles font toujours face à des difficultés pour accéder aux ressources essentielles comme la terre, le crédit, les intrants (dont les semences améliorées et les engrais), la technologie, la formation agricole et l'information. Des études montrent qu'autonomiser et investir dans les fermes rurales peut accroître significativement la productivité, améliorer les moyens de subsistance en zone rurale, réduire la faim et la malnutrition. On estime que si les femmes avaient le même accès aux moyens de production que les hommes, les rendements de leurs exploitations pourraient augmenter de 20 ou même de 30 pour cent. En outre, combler le fossé qui sépare les femmes des hommes dans l'agriculture pourrait permettre à 100-150 millions de personnes d'échapper à la faim (FAO, 2011c).

De par le monde, de nombreuses femmes s'occupent de petites et moyennes entreprises forestières et dépendent des produits forestiers pour générer des revenus. Elles

sont activement impliquées dans la récolte, la transformation et la vente de nombreux PFNL, dont les insectes comestibles. Une étude a montré que plus de 94 pour cent des 1 100 vendeurs de PFNL enquêtés sur les marchés ruraux et urbains du Cameroun étaient des femmes. La même étude a montré qu'en République démocratique du Congo, plus de femmes que d'hommes étaient impliquées dans le commerce de la viande de brousse, représentant 80 pour cent des commerçants en viande de brousse sur les marchés de Kinshasa (Tieguhong *et al.*, 2009). Cependant, la plupart du temps ces activités sont de nature informelle, pour de nombreuses raisons: les femmes ont de plus grandes responsabilités domestiques, ce qui limite leur disponibilité pour participer pleinement dans des économies formelles; les femmes ont souvent des niveaux faibles ou sous-estimés de compétence et d'éducation; et tous les revenus obtenus de la vente des PFNL tendent à être utilisés pour les besoins du ménage plutôt que pour investir dans le développement de leur activité (FAO, 2007). Les petites et moyennes entreprises forestières sont une opportunité pour le secteur des insectes comestibles de réduire la pauvreté, d'améliorer l'équité et de protéger les forêts et les autres ressources naturelles.

Les femmes et les enfants jouent un rôle actif dans le secteur des insectes comestibles, principalement parce que les moyens nécessaires pour s'engager dans la récolte, la transformation et la vente des insectes, sont relativement limités. Dans le sud du Zimbabwe, la récolte, la préparation (purge du tube digestif, rôtissage et séchage), l'emballage, le mélange et la vente des chenilles mopane sont traditionnellement faits par les femmes (Hobane, 1994; Kozanayi et Frost, 2002) (voir Encadré 12.1). Ce sont surtout les femmes qui vendent les chenilles mopane dans les villes et les petits centres commerciaux, essentiellement en petites quantités (Kozanayi et Frost, 2002), mais les hommes dominent les filières commerciales plus lucratives à longue distance et pour de plus grands volumes. Le problème principal cité par les femmes est que les grands volumes de chenilles mopane sont trop encombrants pour que le commerce transfrontalier soit intéressant. Pour ces raisons, les femmes vendent généralement leurs récoltes en petites quantités dans des marchés libres, sur des points de vente le long des routes, aux gares routières et sur les marchés municipaux. La plupart des femmes récolteuses et préparatrices appartiennent aux communautés locales et sont traditionnellement très sédentaires. Elles ont aussi de nombreuses obligations domestiques, telles que travailler aux champs, récolter de la nourriture, cuisiner, garder les enfants, récolter le bois et aller chercher de l'eau.

Au Mexique, des études ont montré que le genre joue un rôle significatif dans la recherche, la récolte, la préparation, la commercialisation et la vente des insectes comestibles au sein des groupes ethniques (Ramos Elorduy, Carbajal Valdés et Pino, 2012). Les femmes et les enfants sont les principaux récolteurs si l'espèce en question est relativement facile à atteindre. Les insectes venimeux ou qui vivent dans des endroits dangereux sont en général récoltés par les hommes. De plus, alors que les insectes récoltés par les femmes contribuent en général aux besoins alimentaires du ménage, ceux récoltés par les hommes sont typiquement destinés à être vendus au marché de gros, particulièrement lorsque de grandes quantités ont été récoltées. Les femmes aident les hommes dans cette activité en vendant les insectes au détail sur le marché. Les insectes vendus par les femmes sont des sauterelles, des punaises puantes (jumiles), des punaises géantes du prosopis (*Thasus gigas*) (xamues), de petits coléoptères, des cigales, des chenilles immatures de papillons, des fourmis (*Atta* spp., y compris leurs reines, chicatana) et des mélipones. Il n'est pas surprenant que le miel de mélipone soit le produit issu d'insectes le plus vendu sur les marchés locaux (Ramos Elorduy, Carbajal Valdés et Pino, 2012).

En fonction de leurs activités différentes, les hommes, les femmes et les enfants ont naturellement des connaissances différentes sur les insectes. Une étude au Niger a montré que les femmes étaient capables de nommer jusqu'à 30 espèces de sauterelles par leur nom vernaculaire, c'est-à-dire environ dix de plus que les hommes (Groot, 1995), car les femmes jouent un plus grand rôle dans la récolte et la préparation des insectes. De même, les hommes et les femmes aborigènes contribuent différemment aux régimes de

subsistance en Australie (les femmes s'occupant des plantes, du miel, des œufs, des petits vertébrés et des invertébrés, et les hommes chassant principalement les vertébrés plus gros) et, en conséquence, leurs connaissances varient largement (Yen, 2010). En raison de l'importance des connaissances écologiques traditionnelles pour l'amélioration de la compréhension générale de l'écologie et de la biologie des insectes, les politiques de gestion durable et de développement du secteur des insectes comestibles doivent prendre en compte les rôles différents joués par les hommes et par les femmes dans les activités liées aux insectes afin de les impliquer en conséquence.

Pour de nombreuses raisons, les déficiences en protéines et autres carences nutritionnelles sont typiquement plus répandues dans les parties les plus désavantagées de la société. Les femmes et les autres populations vulnérables sont désavantagées dans l'accès aux moyens de production. Les femmes ont des besoins biologiques différents de ceux des hommes, nécessitant un régime alimentaire plus ciblé. Par exemple, les femmes ont besoin de 2,5 fois plus de fer que les hommes dans leurs aliments, de même que plus de protéines lorsqu'elles sont enceintes ou allaitantes (FAO, 2012e). L'accès aux protéines animales autres que celles des insectes diffère aussi entre hommes et femmes dans certaines sociétés, les hommes ayant, en général, un meilleur accès. Chez les Indiens Tukano du nord-ouest de l'Amazonie, par exemple, les insectes fournissent aux hommes jusqu'à 12 pour cent des protéines brutes issues d'animaux dans leur régime alimentaire chaque saison, qu'il faut comparer aux 26 pour cent des régimes alimentaires féminins (Dufour, 1987). La même étude a fourni des exemples qui montraient que les insectes sont la seule source de protéines accessible aux femmes pendant certaines périodes de l'année; parallèlement, ils constituent une source essentielle de matières grasses. Grâce à leur composition nutritionnelle et à leur relative accessibilité, les insectes comestibles offrent une grande opportunité pour lutter contre l'insécurité alimentaire et améliorer les moyens de subsistance des populations vulnérables.

# 12. Économie: revenus, développement des entreprises, marché et commerce

Ce chapitre illustre les aspects économiques clefs de la récolte et de l'élevage des insectes, tels que leur potentiel de production de revenus au niveau domestique ou à des échelles plus grandes, industrielles. Il présente les caractéristiques principales nécessaires pour développer des entreprises fondées sur les insectes, y compris comment approvisionner les marchés en insectes, et fournit des données sur le commerce des insectes comestibles.

## 12.1 REVENUS

La récolte et/ou l'élevage des insectes peut offrir des opportunités exceptionnelles d'emploi et de revenus dans les pays en développement, particulièrement, mais pas exclusivement pour les pauvres des zones urbaines et rurales. Dans de nombreux cas, la récolte et l'élevage des insectes peuvent faire partie d'une stratégie de diversification des moyens de subsistance qui fournit aux familles de nombreuses activités rémunératrices. Par exemple, les élevages de vers à soie, de fourmis, d'abeilles peuvent être considérés comme des systèmes de production à buts multiples: les vers à soie produisent des aliments et des fibres, et les fourmis tisserandes (*Oecophylla* spp.) luttent contre les nuisibles et fournissent des aliments (Offenberg et Wiwatwitaya, 2009b). Dans le cas des abeilles, le miel el les larves peuvent tous deux être récoltés comme aliments. Par exemple, les cueilleurs Hadza de Tanzanie n'enlèvent pas les larves du rayon de miel avant de consommer le miel (Murray *et al.*, 2001).

Dans les pays développés, l'élevage des insectes est réalisé principalement dans des unités gérées au niveau familial. Actuellement, il y a seulement quelques élevages industriels d'insectes à grande échelle. Cette section s'intéresse essentiellement au revenu potentiel offert par les insectes aux pauvres dans les pays en développement. Le revenu potentiel de l'élevage et de la préparation des insectes dans les pays développés est décrit dans les sections suivantes.

La grande majorité des insectes utilisés comme aliments dans les pays en développement est récoltée à partir des populations sauvages dans la nature, sur les terres agricoles ou en forêt. En plus de l'autoconsommation par le récolteur et sa famille, le surplus d'insectes récoltés peut être facilement vendu contre espèces (ou troqué) sur le marché villageois local ou sur des stands dans les rues, par le récolteur ou par des membres de sa famille. Les insectes peuvent être vendus aussi bien directement aux consommateurs sur les marchés locaux, qu'aux intermédiaires et aux grossistes à la porte de la ferme. Leur intervention et le nombre d'intermédiaires impliqués, s'il y en a, vont déterminer le prix final des insectes payé par le consommateur en bout de chaîne.

Des exemples de prix des insectes sont présentés pour donner une idée des ordres de grandeur; ils ont été pris à partir d'une grande diversité de cas, au niveau villageois, sur les marchés et en ligne. Ces prix ne doivent pas être utilisés pour des extrapolations, ni pris en dehors de leur contexte. Au Kenya, 1 kg de termite se vend 10 € (V. Owino, communication personnelle, 2012). On peut acheter en ligne 70 g de nymphes de fourmis tisserandes pour 7,50 € au Royaume-Uni et en Irlande du Nord. Aux Pays-Bas, 50 g de vers de farine et de petits vers de farine coûtent 4,85 € et 35 criquets migrateurs coûtent en ligne, environ 9,99 €. En République démocratique populaire lao, le prix des sauterelles est beaucoup plus bas, soit approximativement 8 à 10 € par kg. À Oaxaca, au Mexique,

les chapulines se vendent à environ 12 € le kg. Sur les marchés du Cambodge, une boîte (150 à 200 g) de grillons frits (*Acheta testacea* et *Gryllus bimaculatus*) est vendue 0,40 à 0,70 €. Les prix varient entre les zones rurales et les zones urbaines (C. Munke, communication personnelle, 2012).

En Thaïlande, des intermédiaires achètent les insectes aux récolteurs et les vendent aux grossistes qui les revendent aux vendeurs de rue et/ou aux détaillants. Les intermédiaires peuvent aussi livrer des insectes vivants comme reproducteurs à vendre aux éleveurs qui commencent leurs activités d'élevage (A. Yen, communication personnelle, 2012).

Les consommateurs peuvent acheter des insectes frais ou préparés au marché du village, au supermarché, chez les détaillants et auprès des vendeurs de rue. Les insectes peuvent aussi être consommés dans les restaurants, en fonction de l'acceptation de l'entomophagie dans une région donnée.

Dans le sud du Zimbabwe, les chenilles mopane sont vendues dans les marchés ruraux et urbains, et de nombreux acteurs du marché sont impliqués (Encadré 12.1). En Thaïlande, les insectes frais et les insectes cuisinés sont tous deux vendus au marché local, dans les supermarchés de gros et les supérettes (Encadré 12.2). Ils sont disponibles soit précuits (dans des chariots et des stands alimentaires en pleine rue), ou crus, en paquets congelés dans les supermarchés (Hanboonsong, 2012). Ils sont aussi vendus en paquets «prêt-à-consommer» ou à réchauffer au four micro-ondes.

ENCADRÉ 12.1

**Récolte, préparation et commercialisation des chenilles mopane**

Les femmes et les enfants réalisent l'essentiel du travail de récolte et de préparation des chenilles mopane. Les tâches suivantes sont nécessaires pour obtenir un produit vendable.

**Récolte.** Les femmes et les enfants récoltent les chenilles, de préférence sur les petits arbres. Lorsqu'elles atteignent leur maturité, les chenilles descendent des arbres et elles sont aussi récoltées sur le sol.

**Purge du tube digestif.** Les chenilles matures vident leur tube digestif avant la métamorphose. Les consommateurs, pour la plupart, préfèrent les chenilles à ce stade. Cependant, si elle n'a pas atteint sa pleine maturité, la chenille doit être pressée pour expulser les excréments de son tube digestif. La façon conventionnelle est de la presser entre le pouce et l'index. Certains préparateurs utilisent une bouteille comme un rouleau pour expulser les excréments. Les acheteurs vérifient la propreté des tubes digestifs en cassant la chenille en deux. Les épines des chenilles peuvent piquer les mains des ouvriers, provoquant des décolorations, des saignements et des douleurs. Certains récolteurs enroulent des fibres d'écorce autour de leurs doigts ou utilisent des gants.

**Rôtissage et séchage.** Les chenilles traitées sont rôties sur des charbons ardents pour les cuire et enlever leurs épines. Le rôtissage supprime aussi la couleur rouge des chenilles. Les acheteurs cherchent des traces de coloration pour s'assurer d'une bonne cuisson des chenilles. Les chenilles sont alors séchées au soleil. Certains ajoutent seulement du sel et sèchent les chenilles au soleil sans les rôtir. Les chenilles préparées de cette manière sont vendues uniquement sur les marchés locaux, car, à l'extérieur, on les préfère sans épines. De plus, les consommateurs des marchés urbains ne veulent pas de chenilles mopane salées car elles ont un aspect blanchâtre non désiré. Les chenilles peuvent être bouillies, puis séchées au soleil. De même que les chenilles salées et séchées au soleil, les chenilles bouillies ont toujours leurs épines, ce qui en réduit la valeur sur le marché.

**Emballage et mélange.** Les chenilles sont emballées dans des sacs ou des grandes boîtes de conserve avant de les vendre aux commerçants ou au marché. Les commerçants achètent les chenilles et les reconditionnent en petits paquets avant de les revendre. Les commerçants

*Suite page suivante*

*Encadré 12.1 (suite)*

qui achètent les chenilles en vrac aux récolteurs, mélangent habituellement les lots de basse qualité (p. ex. celles qui n'ont pas été correctement purgées) avec les lots de meilleure qualité. Cette opération s'appelle le mélange. Un seau de 35 litres contient environ 10 kg de chenilles mopane.

**Vente.** Ce sont les acheteurs, plutôt que les vendeurs, qui, dans la plupart des régions, déterminent les prix. Les transactions impliquent souvent le troc et les taux de change varient considérablement.

**Transport et commercialisation.** Les chenilles mopane proviennent souvent de lieux éloignés des marchés principaux qui sont le plus souvent en zones urbaines. Les commerçants doivent fréquemment faire de longs voyages pour leurs activités. Le coût de transport par unité de chenilles mopane (coûts des voyages et coûts du fret) décroît lorsque le poids transporté augmente.

**Commerçants.** Les femmes se limitent nettement à la récolte, la transformation et la vente de petites quantités de chenilles mopane dans les marchés libres, les points de vente le long des routes, les gares routières et les marchés municipaux. Les hommes dominent en général les filières commerciales de grosses quantités de chenilles mopane à longue distance, plus rémunératrices.

**Marchés.** Les chenilles mopane sont vendues dans une grande diversité de débouchés commerciaux, à destination, à la fois des consommateurs et d'autres commerçants. Les débouchés commerciaux principaux sont les supermarchés et les magasins, les gares routières, les marchés libres, municipaux et de bord de route et les brasseries. Les supermarchés sont les principaux détaillants pour les chenilles mopane préemballées et étiquetées livrées par des compagnies de vente en gros de produits alimentaires emballés.

**Commerce international.** À l'époque de l'étude les chenilles mopane du sud du Zimbabwe étaient commercialisées au Botswana, en République démocratique du Congo, en Afrique du Sud et en Zambie. Les détails de ce commerce sont difficile à retracer car il est informel et, dans certains cas, illégal (p. ex. pour échapper aux taxes douanières).

**Fluctuations de disponibilité et de prix.** Des fluctuations locales de prix, tout au long de l'année reflètent largement les variations de l'offre et de la demande. Certains commerçants accumulent les chenilles mopane pour les vendre en période de pénurie, lorsque les prix sont élevés.

*Source:* Kozanayi and Frost, 2002.

ENCADRÉ 12.2

**Les marchés de gros en Thaïlande**

Les marchés d'insectes comestibles en gros connus sont le marché Rong Kluea à Sakeaw (le plus grand marché d'insectes comestibles près de la frontière cambodgienne), le marché Klong Toey (Bangkok), le marché Talat Thaï (Bangkok), et le marché Jatujak (Bangkok; ce marché vend surtout des vers de farine pour l'alimentation des animaux de compagnie) (Hanboonsong, 2012). Avec la demande croissante pour les insectes comestibles, des quantités de ces insectes sont importées à partir du Cambodge et de la République démocratique populaire lao et sont vendues au marché Rong Kluea. Ces insectes comestibles importés sont principalement récoltés dans la nature.

## 12.2 DÉVELOPPEMENT DES ENTREPRISES

Les personnes qui récoltent des insectes dans la nature pour les vendre au marché le plus proche, agissent en général de façon individuelle, de même que les éleveurs d'insectes.

L'encadré 12.3 résume les questions clefs de faisabilité qui doivent être prises en compte pour démarrer une entreprise basée sur les insectes.

ENCADRÉ 12.3

**Étude de faisabilité préalable à la création d'un commerce alimentaire de rue**

Étude de marché:

- types de rues et d'aliments à grignoter en vente (y a-t-il déjà des insectes en vente?);
- prix de vente des aliments de rue et à grignoter;
- types de clients (familles, enfants, employés de bureau, etc.);
- fréquence d'achat des clients;
- quantités vendues;
- concurrence;
- qualités et sécurités exigées par les clients.

Faisabilité technique:

- méthodes de transformation et de préparation requises pour fournir les quantités demandées;
- exigences d'hygiène et de sécurité pour la préparation;
- obligations légales d'hygiène et de sécurité;
- production agricole nécessaire pour fournir les ingrédients;
- équipement nécessaire;
- main-d'œuvre nécessaire;
- compétences requises.

Faisabilité financière:

- frais de lancement;
- coûts d'exploitation;
- flux de trésorerie;
- bénéfice potentiel;
- emprunts.

*Source: FAO, 1997a.*

### 12.2.1 Création de coopératives et d'associations

Les entreprises basées sur les insectes constituent toujours une chaîne de valeur émergente. Cela veut dire qu'il y a des défis tels que la législation et la réglementation du secteur des insectes comestibles, qui ne peuvent pas être relevés par des individus. Aussi, les parties concernées par le secteur doivent travailler ensemble pour promouvoir leur programme commun, renforcer la reconnaissance de leurs activités et accroître leur pouvoir de négociation.

Les associations et organisations sont un lien essentiel entre les décideurs, les ONG et les éleveurs. En offrant une voix commune aux éleveurs et aux récolteurs – dans ce cas, ceux qui sont impliqués dans le secteur des insectes comestibles – ils peuvent contribuer à la planification, à la conception et à la mise en œuvre de politiques et de programmes qui affectent directement ou indirectement leurs moyens de subsistance (FAO, 2007). En bref, les associations de producteurs d'insectes (récolteurs et/ou éleveurs) pourraient être un outil puissant pour le développement du secteur. L'encadré 12.4 donne un exemple d'une telle association.

Les organisations peuvent constituer une forme d'appui alternatif lorsque les services publics et privés ont failli. De plus, elles sont libres d'agir suivant leurs propres méthodes (FAO, 2007). À la réunion d'experts sur «l'Évaluation du potentiel des insectes dans l'alimentation animale et humaine et dans le renforcement de la sécurité alimentaire» qui s'est tenue à la FAO en janvier 2012, plusieurs producteurs ont lancé un appel pour

la création d'une association internationale des producteurs d'insectes. Pour que ces associations réussissent, elles doivent être orientées vers le marché, être bien gérées et elles doivent avoir une bonne structure organisationnelle qui établit clairement les droits et responsabilités de chacun, pourvoit aux besoins de tous les membres, prend en compte les questions de genre et permet la liberté de parole. Les bénéfices de créer et de rejoindre de telles organisations sont (FAO, 2011b):

- réduction des coûts d'achat des intrants, de production, de transformation et de commercialisation;
- partage et mise en commun des ressources et des compétences, et acquisition de nouvelles compétences grâce à la coopération;
- coûts de transaction et de transport plus bas;
- accès au crédit facilité;
- meilleures capacités pour accéder aux zones urbaines;
- plus d'opportunités de liens commerciaux;
- de plus grandes opportunités de formation en hygiène, préparation des aliments, développement des compétences professionnelles, etc.;
- une voix unique pour obtenir des autorités, des licences et autorisations de vente;
- une amélioration de la cohésion sociale entre les membres.

ENCADRÉ 12.4
**L'Association hollandaise des éleveurs d'insectes**

La production et la vente des insectes comestibles aux Pays-Bas ont commencé avec la fondation de l'Association hollandaise des éleveurs d'insectes (VENIK) en 2008. Reconnaissant les barrières culturelles en jeu, l'association a opté pour une stratégie à long terme qui se concentre sur les insectes, pas uniquement comme aliment pour l'homme, mais aussi comme aliment pour les animaux et comme ressource pharmaceutique. Cependant, déterminer le futur des insectes dans l'alimentation nécessite d'agir par lobbying, par la mise au point de scénarios d'entreprise et par l'établissement de feuilles de route. VENIK est en train d'établir un réseau aux niveaux national et international avec les acteurs du marché, les institutions scientifiques et les ONG. Elle a des contacts avec les décideurs politiques, les politiciens et l'autorité pour la sécurité des aliments. Elle fournit également des informations sur les insectes comestibles aux professionnels, aux consommateurs et aux médias.

VENIK garde l'espoir que les insectes seront considérés, un jour, comme une source durable et crédible de protéines nourrissantes. Des lignes de production spéciale sont déjà opérationnelles pour se conformer aux normes de l'HACCP. Trois espèces d'insectes sont produites pour la consommation humaine, le ver de farine (*Tenebrio molitor*), le petit ver de farine (*Alphitobius diaperinus*) et le criquet migrateur (*Locusta migratoria*). Ces insectes sont vendus lyophilisés.

Ces dernières années, VENIK a contribué au développement de la législation, des normes de qualité et des marchés. L'association construit aussi une base de connaissances pour promouvoir l'acceptation et l'innovation technique à trois niveaux: justification des insectes comme protéines de substitution et techniques d'automatisation; application des connaissances acquises; et performance des expériences pratiques.

*Source:* FAO/WUR, 2012.

### 12.2.2 Exemple de stratégie pour le développement d'une entreprise: leçons d'autres entreprises

On estime que la sériciculture génère 11 jours d'emploi par kg de soie brute produite (activités agricoles et non agricoles). Aucune autre industrie ne génère autant d'emplois, particulièrement en zones rurales; aussi, la sériciculture est-elle utilisée comme instrument

de reconstruction rurale. La sériciculture fournit également de la vigueur aux économies rurales – environ 57 pour cent de la valeur brute des tissus de soie revient aux producteurs locaux de cocons (Umesh *et al*., 2009). Le XI[e] Plan du Gouvernement indien (2007-2012) a établi que des efforts de recherche-développement supplémentaires devraient être entrepris pour augmenter les capacités de production, développer infrastructures, ressources humaines et autres facilités. La production, l'emploi et les taux d'exportation ont tous augmenté en 2010-2011 (Gouvernement indien, 2011).

Le rapport annuel 2011 du Ministère indien des textiles (Gouvernement indien, 2011) donne des détails sur les stratégies commerciales pour la vente de produits à base de soie sauvage «Vanya» sur les marchés internationaux. La cellule de promotion du marché de la soie Vanya focalise son action sur la promotion, le développement de produits faits à partir de ce type de soie et leur diversification, et a publié un annuaire des producteurs, commerçants, détaillants et exportateurs. La cellule de promotion organise aussi des expositions internationales et y participe. Pour le développement et la diversification des produits, la cellule collabore avec l'Institut national de stylisme, qui étudie le niveau actuel du travail, la production et l'état socio économique des populations, interagit avec les artisans et suggère le style et le conditionnement des produits à base de soie.

## 12.3 DÉVELOPPEMENT DES MARCHÉS POUR LES PRODUITS À BASE D'INSECTES

Les systèmes de production et les moyens de subsistance sont de plus en plus influencés par la demande des consommateurs urbains, des intermédiaires du marché et des industries alimentaires locales ou internationales (Van der Meer, 2004). Dans ce contexte de marché globalisé et intégré, les petits éleveurs, les femmes, les peuples indigènes et les autres groupes vulnérables sont désavantagés car ils n'ont pas accès à l'information, aux services, aux technologies, au crédit et sont dans l'impossibilité de fournir de grandes quantités de produits de qualité aux agents du marché (Johnson et Berdegué, 2004). Les intermédiaires, oligopoles et monopoles contrôlent souvent le marché, leur permettant ainsi de déterminer des augmentations substantielles de prix et d'exclure la participation des petits éleveurs. On a constaté que dans certaines régions du Mexique, les intermédiaires exploitaient les peuples indigènes locaux qui ont besoin d'argent pour acheter des biens domestiques comme des récipients, des tissus et des livres scolaires. Ceci incite souvent les récolteurs à exploiter continuellement la ressource, provoquant une pression sur l'écosystème et diminuant la disponibilité des insectes comestibles (Ramos Elorduy, Carbajal Valdés et Pino, 2012). Au Mexique, il a été noté que les intermédiaires ne payent que 30 dollars EU pour 1 kg de larves de fourmis du genre *Liometopum* (connues sous le nom d'escamoles), alors qu'un intermédiaire au niveau national les vend 180 dollars EU à leurs correspondants internationaux (Ramos Elorduy, 1997). L'établissement d'associations de producteurs ou d'éleveurs d'insectes devrait permettre de résoudre ce problème et serait une étape décisive vers le développement de nouveaux marchés ou la diversification des marchés existants pour les produits à base d'insectes.

Bien que la récolte et l'élevage des insectes pour l'alimentation humaine ou animale dans les pays en développement soient réalisés de façon informelle, leur vente, ou la vente de leurs produits sur les marchés se font de façon plus formelle. Les marchés et le commerce des insectes sont relativement bien structurés dans leurs propres contextes locaux et forment un réseau comprenant les producteurs/récolteurs, les intermédiaires, les vendeurs et les transformateurs. Néanmoins, lorsque les insectes ne sont pas perçus comme une source importante ou même réelle, d'aliments pour l'homme, il peut être difficile pour les acteurs de pénétrer les marchés ou d'en créer de nouveaux. Cette section présente les nombreuses questions soulevées par l'introduction des insectes et des produits dérivés dans le marché et donne des exemples de stratégies commerciales de quelques compagnies qui ont, ou sont en train de développer des marchés spécifiques pour leurs produits à base d'insectes.

### 12.3.1 Accès aux marchés: l’exemple de l’alimentation de rue

Dans les pays en développement, les insectes comestibles sont principalement commercialisés comme aliments de rue. Les insectes présentés sur les stands et dans les restaurants locaux sont particulièrement appréciés dans les pays de l’Afrique australe et de l’Asie du Sud-Est. Les marchés de rue existent depuis des centaines d’années, aussi bien en zones rurales qu’en zones urbaines, et proposent des aliments bon marché qui reflètent, en général, les habitudes alimentaires locales. Les aliments de rue sont, pour la plupart, vendus directement aux consommateurs. Il s’agit d’une nourriture bon marché, prête à être consommée quotidiennement. Ainsi, les consommateurs choisissent dans la rue l’aliment qu’ils souhaitent en fonction du prix et de leur convenance. Ces marchés suivent aussi la saisonnalité des productions et des récoltes et permettent de varier le menu des consommateurs. La contribution économique de ces marchés dans les pays en développement est considérable mais souvent sous-estimée ou négligée (FAO, 2011a).

Bien qu’il soit vrai que les commerçants ne fassent pas d’étude de marché formelle, ils apprennent certainement, tirent des leçons de l’expérience et s’adaptent en conséquence. Les commerçants et les vendeurs expérimentent et testent régulièrement des démarches commerciales et des stratégies de vente: par exemple, de petites assiettes d’insectes frais ou préparés sont proposées à la place de la vente en vrac ou en sacs plastiques; des volumes ou des emballages plus grands sont destinés aux autres vendeurs et aux intermédiaires; des portions plus petites visent le consommateur final. Ce type de tests et d’adaptations, fondé sur l’observation et l’expérimentation, constitue, en fait, une sorte d’étude de marché, même si ce n’en est pas au sens formel.

La FAO a publié une revue d’ensemble du fonctionnement du marché informel qui peut inspirer les vendeurs à l’étalage qui souhaitent vendre des insectes comestibles (Encadré 12.5).

ENCADRÉ 12.5

**Brochure de la FAO sur la diversification n° 18**

Questions de traitement et de préparation:

- types d’instruments et de sources d’énergie nécessaires – p. ex. électricité, bois (en tenant compte du coût);
- comment traiter l’aliment (en tenant compte le type d’aliment, l’espèce de l’insecte et les traditions);
- comment emballer et étiqueter l’aliment (en tenant compte du coût);
- comment transporter l’aliment (en tenant compte du coût);
- crédits, prêts et possibilités de micro-financement pour les entrepreneurs débutants.

Questions fondamentales:

- Quels aliments de rue et à grignoter sont demandés?
- Quels prix peut-on en obtenir?
- Comment s’assurer de la qualité et de la sécurité des aliments?
- Quelle est la concurrence potentielle?
- Quel sera le volume des ventes et où sont les meilleurs points de vente?
- Quelles sont les distances de trajet, en km et en heures, entre l’entreprise et les points de vente?
- Comment seront vendus les aliments (p. ex. par colportage ou par la mise en place d’un stand dans la rue)?

Stratégie commerciale:

- Le vendeur doit être en contact direct avec le consommateur afin d’être proactif.
- Des retours directs d’information sur les produits doivent être obtenus et des tests de dégustation doivent être conduits.

*Suite page suivante*

*Encadré 12.5 (suite)*

- Des cadeaux et des actions conviviales sont des stratégies importantes.
- La qualité et la sécurité des aliments, ainsi que l'observance de règles strictes d'hygiène sont des éléments importants de la stratégie commerciale.
- Le choix du lieu de vente et de l'exposition du produit est important, particulièrement l'ordre dans lequel les produits sont disposés, mais aussi l'impact du soleil sur les produits. La présence du vendeur constitue aussi un élément important de l'exposition.

*Source:* FAO, 2011b.

Le matériel d'emballage peut être fait à partir de matériaux disponibles localement, à condition qu'ils soient sûrs, hygiéniques et qu'ils n'altèrent pas la qualité de l'aliment. Les feuilles (d'arbres ou plantes) sont fréquemment utilisées pour envelopper les aliments de rue car elles sont bon marché et facilement disponibles. Les autres matériaux disponibles localement comprennent des pots de terre cuite, des bols pour les yaourts, des caisses en bois pour les bouteilles et des sacs en fibres textiles comme le jute ou le coton.

Les entreprises de restauration de rue sont généralement familiales ou gérées par une seule personne et la majorité opère de façon informelle sans l'obtention d'une quelconque autorisation. Des études dans les pays en développement ont montré que 20 à 25 pour cent des dépenses alimentaires familiales sont faites hors de la maison, et que certains segments de la population dépendent entièrement des aliments de rue. Les aliments de rue sont particulièrement populaires en Asie. On estime qu'à Bangkok, 20 000 vendeurs fournissent aux citadins, 40 pour cent de leur alimentation (FAO, 2011a).

## 12.4 STRATÉGIES COMMERCIALES

Les insectes et les produits qui en sont dérivés peuvent être produits en masse pour la protection des cultures (insectes utiles), pour la pollinisation (bourdons) et pour la santé (asticothérapie), ainsi que pour l'alimentation des hommes, des animaux de compagnie et du bétail, pour la recherche et pour de nombreux autres usages sur les marchés nationaux et internationaux, tels que celui des objets de collection. De nombreux types d'insectes sont vendus vivants; cependant, les produits issus des insectes et les sous-produits constituent la majorité du commerce des insectes (Kampmeier et Irwin, 2003).

Dans les pays en développement, les marchés sont très diversifiés, mais on sait peu de chose sur leur implantation et leur développement. Dans de nombreux cas, les insectes sont également exportés vers d'autres marchés régionaux, comme dans le cas des mygales et des grillons au Cambodge. En raison de la nature informelle de ce commerce, il existe peu d'informations précises concernant les quantités d'insectes achetées et vendues sur le marché (C. Munke, communication personnelle, 2012).

Une large gamme d'exemples de recherche/développement des marchés, ainsi que de stratégies de commercialisation par des compagnies, dans les pays développés ou en développement est exposée ci-dessous. Ces exemples montrent une grande diversité des approches en cours sur différents marchés dans différents pays, mais, en aucun cas ils ne sont exhaustifs.

### 12.4.1 Les insectes, aliments exotiques aux États-Unis

Dans les années 60, la compagnie nord-américaine Reese Finer Foods a lancé sur le marché des fourmis, des abeilles, des chenilles et des sauterelles enrobées de chocolat, des sauterelles frites, des vers à soie frits et des chenilles rôties. L'idée initiale de Max Ries, importateur de denrées alimentaires à Chicago qui a fondé la compagnie, était d'importer des denrées exotiques comme cette spécialité japonaise, la viande de baleine épicée en tranches, ainsi que de la viande de serpent à sonnette, pour plaire aux amateurs de goûts exotiques. Son successeur à la présidence de la compagnie a développé l'idée

d'importer des fourmis de Colombie, puis plus tard du Japon. La distribution de ces nouveaux produits a cessé suite à des mouvements environnementalistes contre leur importation. Actuellement, Reese Finer Foods reste toujours un fournisseur pour les épiceries des États-Unis, mais les denrées exotiques ne figurent plus dans son catalogue.

### 12.4.2 Les approches occidentales actuelles: les insectes, nouveautés et aliments exotiques

Cette dernière décennie a vu le retour des insectes comme nouveautés dans les boutiques de denrées exotiques et les magasins gastronomiques, particulièrement dans les pays développés. Différents types d'insectes sont apparus sur les étalages, ou sont vendus sur Internet, en Europe, au Japon et aux États-Unis. Ces produits vont des fourmis en conserve et des chrysalides de vers à soie du Japon, aux chenilles du maguey du Mexique et aux sauterelles frites. Les vers blancs du maguey en conserve sont exportés vers le Canada et les États-Unis. Ces conserves ne contiennent que cinq ou six chenilles par boîte et sont vendues au prix de 50 dollars EU le kg (Ramos Elorduy *et al.*, 2011).

Le concept de «nouveauté» est une stratégie commerciale pour la vente des insectes. Des insectes frits, enrobés de chocolat ou de sucre durci et des larves frites et épicées, sont disponibles aux États-Unis, tandis que les magasins de luxe les plus connus au monde, Harrods et Selfridges, vendent à Londres des mets de luxe à base d'insectes. Des chocolats de haute qualité garnis de grillons trempés dans une peinture dorée sont aussi en vente à Bruxelles. L'achat direct au producteur de confiseries de luxe (avec insectes) est aussi possible via Internet.

### 12.4.3 Les insectes, aliments pour animaux de compagnie

Certains insectes sont exportés des pays en développement vers les pays développés pour être vendus dans les animaleries. La compagnie chinoise HaoCheng Mealworm Inc. exporte 200 tonnes de vers de farine séchés, par an, entre autres, en Amérique du Nord, en Australie, en Europe, au Japon, en Corée, en Afrique du Sud, en Asie du Sud-Est, au Royaume-Uni et en Irlande du Nord. La compagnie vend des vers de farine, des vers de farine géants et des asticots. Les vers de farine sont vendus vivants, séchés, en conserve, ou réduits en poudre. Les vers de farine géants sont vendus vivants, séchés ou en conserve, et les asticots sont vendus en conserve (HaoCheng Mealworm Inc., 2012). Les vers de farine et les vers de farine géants peuvent être utilisés comme compléments alimentaires pour les animaux de compagnie comme les oiseaux, les chiens, les chats, les grenouilles, les tortues, les scorpions et les poissons rouges. Selon la compagnie, les vers de farine peuvent aussi être utilisés dans l'alimentation humaine – incorporés dans le pain, la farine, les nouilles instantanées, les pâtisseries, les biscuits, les bonbons et les condiments, ainsi que directement dans les plats sur la table du repas.

Aux Pays-Bas, les compagnies qui élèvent des insectes pour l'alimentation des animaux de compagnie vendent maintenant des vers de farine et des criquets pour l'alimentation humaine. Kreca est l'exemple d'une telle compagnie. Cependant, les vers de farine constituent un créneau limité dans l'industrie alimentaire humaine, et ces compagnies survivent surtout grâce à la vente d'insectes pour l'alimentation des animaux de compagnie.

## 12.5 COMMERCE

Le commerce des insectes alimentaires dans les pays occidentaux est suscité par la demande des communautés immigrées venant d'Afrique et d'Asie ou par le développement de créneaux commerciaux pour les aliments exotiques.

Une étude de cas réalisée en République centrafricaine a constaté que les principaux importateurs de chenilles étaient le Tchad, le Nigéria et le Soudan, à travers la Communauté économique et monétaire d'Afrique centrale. La République centrafricaine exporte aussi des chenilles vers les communautés africaines de Belgique et de France (Tabuna, 2000) (Encadré 12.6). Le Zimbabwe vend des chenilles au Botswana, en

République démocratique du Congo, en Afrique du Sud et en Zambie. Les vers de l'agave sont exportés du Mexique vers les États-Unis (Ramos Elorduy, 2009; Ramos Elorduy *et al.*, 2011). Sept cents tonnes d'insectes comestibles sont importées en Thaïlande en provenance de la République démocratique populaire lao et du Cambodge, en raison de la forte demande des consommateurs (Yen, Hanboonsong et van Huis, 2013). Des insectes comestibles sont aussi exportés vers les États-Unis pour approvisionner les communautés asiatiques (Pemberton, 1988). Un exemple particulier de commerce international en Asie est le commerce des guêpes japonaises (Encadré 12.7).

ENCADRÉ 12.6

**Aliments ethniques et migrations: l'exportation de chenilles de l'Afrique vers la France et la Belgique**

Les chenilles mopane sont principalement exportées de l'Afrique vers l'Europe. Chaque année, la Belgique importe 3 tonnes et la France 5 tonnes, de chenilles mopane séchées (FAO, 2004), principalement de la République démocratique du Congo (Tabuna, 2000). Les immigrés congolais de Matongé (quartier congolais de Bruxelles) sont les principaux consommateurs de chenilles mopane.

ENCADRÉ 12.7

**Le commerce japonais des guêpes**

Les insectes sont consommés en automne dans les zones montagneuses du Japon. Bien que l'entomophagie ait en général décliné, la consommation de guêpes (*Vespula* spp. et *Vespa* spp.) peut encore être observée. Les nids de guêpes sont vendus sur les marchés durant la période de récolte, en automne, au prix de 100 dollars EU le kg. En raison de la forte demande, des guêpes sont importées de Chine, de Nouvelle-Zélande et de la République de Corée. Des accroissements de la demande pourraient conduire à la surexploitation. Cependant, si ces insectes doivent être exploités de façon durable, leur utilisation commerciale appropriée dépend de la conscience qu'auront les populations de l'habitat des insectes et des exigences de cet habitat.

*Source:* Nonaka, 2010.

# 13. Promouvoir les insectes pour l'alimentation humaine et animale

La diversité des points de vue concernant l'entomophagie nécessite des stratégies de communication taillées sur mesure. Dans certaines parties du monde où l'entomophagie est bien établie, comme sous les tropiques, les stratégies de communication doivent promouvoir et préserver les insectes comestibles comme sources précieuses de nourriture, afin de contrecarrer l'occidentalisation croissante des habitudes alimentaires. Dans les zones où la sécurité alimentaire est fragile, les insectes comestibles doivent être promus comme aliments clefs pour l'homme et pour les animaux pour des raisons nutritionnelles, culturelles et économiques. Cependant, les sociétés occidentales, qui sont toujours fortement opposées à la consommation des insectes, nécessiteront des stratégies de communication taillées sur mesure qui prennent en compte le facteur de dégoût, et cassent les mythes qui entourent cette pratique. Les gouvernements, les ministères de l'agriculture et même les instituts de recherche des pays développés devront être ciblés, car l'utilisation des insectes en alimentation humaine ou animale ne fait toujours pas partie de leurs projets politiques ou scientifiques. Les insectes sont toujours perçus comme nuisibles par la grande majorité des populations, malgré le nombre croissant de documents qui mettent l'accent sur leur rôle précieux dans l'alimentation humaine et animale.

## 13.1 LA QUESTION DU DÉGOÛT

Du point de vue nutritionnel, le préjugé commun contre la consommation des insectes n'est pas justifié. Les insectes ne sont pas de moins bonnes sources de protéines que le poisson, le poulet ou le bœuf. En Occident, les sensations de dégoût à l'égard de l'entomophagie, contribuent à l'idée fausse courante que cette dernière serait provoquée dans le monde en développement par la famine et serait simplement une tentative de survie. C'est loin d'être la vérité. Bien que cela demande une force de persuasion considérable pour renverser cette façon de penser, ce n'est pas une tâche impossible (Pliner et Salvy, 2006). Les arthropodes comme les langoustes et les crevettes, autrefois considérés en Occident comme des aliments pour les pauvres, y sont maintenant des mets délicats et coûteux. On peut espérer que des arguments tels que la haute valeur nutritionnelle des insectes et leur faible impact environnemental, leur faible risque naturel (du point de vue des maladies) et leur digestibilité, peuvent contribuer à un changement de perception (Encadré 13.1).

ENCADRÉ 13.1

**Comment, lorsqu'on a une aversion pour les insectes, peut-on comprendre et accepter que les insectes soient délicieux?**

Apprendre à accepter les insectes comme aliments signifie s'attaquer aux attitudes en général négatives à l'égard des insectes. Une meilleure compréhension de *qu'est-ce qu'un insecte* et de *que fait un insecte*, particulièrement grâce à l'expérience directe, peut déclencher des réactions positives, même à court terme (Vernon et Berenbaum, 2004). Une exposition et une introduction complémentaires à l'entomophagie même peuvent diminuer la surprise et la nouveauté de voir des insectes dans l'assiette. Les zoos, les musées et les universités peuvent jouer un rôle important en ce sens. Cependant, la sensation de dégoût peut être très difficile à modifier.

*Suite page suivante*

*Encadré 13.1 (suite)*

La question de savoir si les insectes comestibles peuvent être acceptés comme aliments et faire partie des habitudes alimentaires dans les sociétés occidentales, dépend d'au moins deux facteurs décisifs: disponibilité et apprentissage.

Les «banquets d'insectes» (Wood et Looy, 2000; Looy et Wood, 2006) sont une combinaison de débats éducatifs et d'opportunités de s'essayer à l'entomophagie. Les insectes sont présentés dans des aliments qui peuvent être goûtés et les prédispositions négatives sont combattues. Des années d'expérimentation aux Pays-Bas et aux États-Unis ont confirmé l'efficacité des «banquets d'insectes» pour vaincre la sensation de dégoût.

*Source:* F. Dunkel, communication personnelle, 2012; M. Peters, communication personnelle, 2012.

Peut-être que dans le document qu'il a écrit en 1921, *Les insectes dans l'alimentation: Comment ont-ils augmenté les ressources alimentaires de l'humanité aux époques anciennes et récentes*, Bequaert résume-t-il le mieux les questions auxquelles les entomologistes se collettent toujours:

> En dépit du poids des évidences historiques, le but de cet article n'est pas de fournir des arguments concernant la valeur des insectes comme aliments ou pour les inclure dans notre régime alimentaire. **Ce que nous mangeons est, après tout, plus une question d'habitude et de mode que quoi que ce soit d'autre…** Ce n'est qu'en raison de ses préjugés que l'homme civilisé d'aujourd'hui montre une aversion marquée à l'encontre de l'introduction de toute créature à six pattes dans son menu. [Souligné par les éditeurs.]

En général, l'éducation est le moyen clef pour sensibiliser le public au rôle potentiel des insectes et pour influencer le choix des consommateurs vers un point de vue plus équilibré et plus favorable à l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale; des livres de cuisine novateurs peuvent contribuer à cette fin (Encadré 13.2).

ENCADRÉ 13.2

**Livres de recettes pour cuisiner les insectes comestibles**

Les chefs et la culture gastronomique jouent un grand rôle dans la détermination des aliments acceptés ou non. Dans certains cas, ceux qui n'accepteraient pas de manger une sauterelle entière, pourraient, à la place, apprécier un petit gâteau aux vers de farine. Voici quelques exemples de livres de cuisine qui présentent des recettes à base d'insectes:

En français:

- *Délicieux! 60 recettes à base d'insectes*, de Romain Fessard
- *Des insectes à croquer*, de Jean-Louis Thémis
- *La cuisine des insectes. À la découverte de l'entomophagie*, de Gabriel Martinez
- *Insectes comestibles*, de S. Much
- *Délicieux insectes*, de Bruno Comby

En anglais:

- *Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects*, de Julieta Ramos Elorduy
- *Eat-a-bug Cookbook: 33 Ways to Cook Grasshoppers, Ants, Waterbugs, Spiders, Centipedes and their Kin*, de David George Gordon
- *Man Eating Bugs: The Art and Science of Eating Insects*, de Peter Menzel et Faith D'Aluisio

En néerlandais:

- *Het Insectenkookboek* (Le livre de cuisine des insectes), de Arnold van Huis, Henk van Gurp et Marcel Dike.

Bien que la sensation de dégoût soit plus fréquente dans les sociétés occidentales, cette aversion occidentale à l'encontre de la consommation des insectes a indiscutablement affecté les populations des pays tropicaux. Au Malawi, Morris (2004) a trouvé que les populations vivant en zones urbaines et fervents chrétiens réagissaient avec dédain à l'idée de manger des insectes. En conséquence de ces influences occidentales, surtout en Afrique, les recherches sur la contribution des insectes comestibles à la nutrition et à l'économie, et sur la biologie et l'écologie des insectes, ont été sporadiques (Kenis *et al.*, 2006).

D'après l'Unesco (2005), le succès de l'éducation pour un développement durable (Encadré 13.3) dépend de la coopération entre tous les secteurs de l'enseignement: formel, non formel et informel. Ceci étant fondamental, la possibilité d'aborder la sensation de dégoût pour l'entomophagie dans les sociétés occidentales pourrait dépendre fortement de la capacité à impliquer la totalité de la communauté des enseignants. Pour cette raison, l'implication de tous les secteurs est recommandée, particulièrement dans les sociétés occidentales.

ENCADRÉ 13.3

**Approches éducatives effectives pour le développement durable**

***Enseignement formel:*** Enseignements primaire, secondaire, post-secondaire et supérieur.
***Enseignement non formel:*** Centres d'initiation à la nature, ONG, éducateurs en santé publique, compagnies privées, centres de recherche privés, agents de vulgarisation agricole.
***Enseignement informel:*** Médias traditionnels et Internet, dont la télévision, la radio, les sites web, les journaux, magazines, Twitter, blogs, YouTube et Facebook.

*Source:* UNESCO, 2005.

### 13.1.1 Les insectes comestibles dans les cursus formels

Jusqu'à récemment, les insectes comestibles en tant que sujet d'enseignement – qui comprenait les techniques d'élevage, les questions de conservation et de gestion, ainsi que l'écologie et la biologie des insectes dans le contexte de l'alimentation humaine et animale – ont été largement absents des cursus formels. Bien que le sujet des insectes dans la lutte biologique (p. ex. IPM) ait été pleinement intégré aux sciences agronomiques depuis plus de 35 ans (Kogan, 1998), les insectes sont toujours conçus, dans la science occidentale, comme des nuisibles à l'agriculture. Aussi, les départements d'entomologie sont souvent rattachés aux facultés agricoles, plutôt qu'aux facultés des sciences. Cette dernière décennie, cependant, a vu un développement lent mais constant des insectes alimentaires dans les programmes de l'éducation formelle. À la fin de 2011, 46 pour cent des 50 universités d'État des États-Unis – les principales universités du pays pour l'alimentation et l'agriculture – avaient au moins un cours dans leurs cursus ou un événement annuel relatif aux insectes alimentaires (F. Dunkel, communication personnelle, 2012). Certaines, comme l'Université d'État du Montana, l'Université de l'Illinois et l'Université de Géorgie, organisent des événements annuels impliquant entre 50 et plusieurs centaines de participants (F. Dunkel, communication personnelle, 2012). Aux Pays-Bas, le Laboratoire d'entomologie de l'Université de Wageningen propose des cours intitulés «Les insectes et la société» (incluant l'entomophagie), qui se sont révélés très appréciés par les étudiants de l'Université. En République démocratique populaire lao, la Faculté d'agriculture de l'Université nationale propose comme sujet «l'élevage des grillons».

### 13.1.2 Recherche et développement

Les programmes formels d'enseignement sont basés sur la recherche et sont mis en œuvre principalement par les universités et les agences gouvernementales et non gouvernementales. Cette section présente une revue non exhaustive des recherches et des formations en cours sur les insectes comestibles.

### *Pays-Bas*

Le Laboratoire d'entomologie fait partie du Groupe des sciences des végétaux de l'Université de Wageningen. Le laboratoire entreprend des recherches fondamentales et appliquées sur la biologie des insectes. Sa mission est de démêler l'écologie des interactions entre les insectes et les autres éléments de l'écosystème en combinant les études écologiques (aux niveaux des populations et des communautés) avec des recherches sur les mécanismes sous-jacents (aux niveaux subcellulaires et individuels). Des stratégies de gestion de la lutte intégrée contre les parasites, les vecteurs et les maladies sont élaborées aussi bien pour les pays développés qu'en développement. Le Groupe de tutelle a une remarquable réputation dans les domaines des interactions multitrophiques, de la lutte biologique, des recherches sur le vecteur du paludisme, et dans le domaine de l'entomophagie; il attire l'attention mondiale sur l'entomophagie. Le Professeur van Huis coordonne le programme «Production durable de protéines d'insectes pour la consommation humaine» (connu sous le nom de Supro2) (2010-2013), qui est financé par le Ministère des affaires économiques. L'objectif est d'explorer le potentiel de production durable d'insectes comestibles et de produits dérivés des insectes, en particulier des protéines, comme source fiable d'aliments de grande qualité avec un impact environnemental inférieur à celui de la production de viande conventionnelle. Les insectes comestibles sont élevés sur des sous-produits organiques, après quoi leurs protéines sont extraites, purifiées et caractérisées afin de les adapter et les intégrer aux produits alimentaires.

Le laboratoire a contribué à la compilation d'une liste mondiale de plus de 1 900 espèces (en 2012) d'insectes comestibles. Les Pays-Bas sont un des rares pays occidentaux où les compagnies d'élevage d'insectes produisent des insectes pour la consommation humaine qui sont effectivement commercialisés.

### *États-Unis*

Les universités aux États-Unis ont fait depuis de nombreuses années la promotion des insectes pour l'alimentation humaine et animale. L'Université d'État du Montana est le principal centre de l'entomophagie, initié par feu le Professeur Gene DeFoliart. Florence Dunkel est professeur associé d'entomologie au Département des sciences végétales et de phytopathologie. Ses recherches portent sur les produits naturels issus des plantes dans la gestion des insectes, particulièrement en relation avec les écosystèmes après

ENCADRÉ 13.4

***La lettre d'information sur les insectes comestibles***[14]

En 1988, plusieurs années après que la science occidentale ait commencé à s'intéresser fortement aux insectes comme aliments, Gene DeFoliart a lancé *The Food Insects Newsletter (La lettre d'information sur les insectes comestibles)*. Le financement de certains des premiers travaux a été fait par des fonctionnaires prévoyants et interculturellement compétents de l'USAID à Washington. À cette époque aux États-Unis, les chercheurs avaient commencé à reconnaître l'utilité de la lutte biologique et de la gestion des insectes basée sur les plantes – des techniques de gestion des insectes connues et appréciées des peuples autochtones depuis des millénaires. Après des travaux de recherche en rafales, il devint clair, cependant, que ce domaine de recherches ne concordait pas au processus de titularisation, que ce soit en termes d'obtention de financements ou d'attraction d'étudiants diplômés vers ce programme de recherches. De plus l'intérêt du public et l'attitude des scientifiques occidentaux n'apportaient aucun soutien. Ces vingt dernières années, cependant, un intérêt graduel croissant pour les insectes comestibles est apparu dans ces mêmes groupes.

[14] Encadré rédigé par Florence Dunkel.

récolte dans le monde entier. Les projets en cours comprennent: l'étude de la résistance variétale du blé aux insectes post-récolte; l'utilisation de produits issus de plantes avec des champignons entomopathogènes pour lutter contre les insectes nuisibles; et l'utilisation de produits naturels dans la gestion holistique du paludisme dans des villages au Mali (Afrique de l'Ouest). Les insectes comestibles et les festins d'insectes ont fait partie de son curriculum en entomologie pendant 24 ans, après la découverte savoureuse de criquets bruns sautés alors qu'elle travaillait au Rwanda. En 1995, Gene DeFoliart l'invita à prendre en charge la rédaction de *The Food Insects Newsletter (La lettre d'information sur les insectes comestibles)*, publiée également sous forme de livre (DeFoliart *et al*., 2009) (Encadré 13.4).

***Danemark***

La Faculté des sciences de l'Université de Copenhague est spécialisée dans une gamme de recherches et de formations en agriculture durable, en production et transformation des aliments et en bien-être humain, en relation avec la nature et la gestion des écosystèmes. La faculté propose plusieurs cours internationaux très suivis aux niveaux des masters (MSc) et des doctorats (PhD), y compris un cours sur la lutte biologique. Le Département des sciences végétales et de l'environnement propose aussi des cours sur la production durable des cultures, comprenant la lutte contre les insectes nuisibles et la protection des insectes utiles – ce dernier groupe incluant les abeilles domestiques. Un groupe de recherches, «Pathologie des insectes et lutte biologique», établi il y a 20 ans, se concentre sur les champignons entomopathogènes. Actuellement, il constitue l'équipe leader au niveau international dans la pathologie des insectes et il a publié de nombreuses études sur l'apparition naturelle des pathogènes des insectes dans les populations sauvages et dans les élevages. Dans cette même université, le «Groupe de recherche sur la nutrition internationale et pédiatrique», qui fait partie du Département de la nutrition, des exercices et des sports, a développé une expertise en réalisant des études sur des populations de nourrissons et d'enfants sains (au Danemark) et mal nourris (dans les pays en développement). Le chapitre 6 présente des détails sur leur projet WinFood pour combattre la malnutrition avec des régimes à base d'insectes au Cambodge et au Kenya. En fait, le présent document contient diverses données nutritionnelles obtenues grâce aux études conduites par le Dr. Nanna Roos, Coordonnatrice du projet WinFood.

***Thaïlande***

L'Université Khon Kaen, la plus grande université publique du nord-est de la Thaïlande, est reconnue chef de file régional dans l'innovation relative à l'enseignement, l'apprentissage et la recherche. La Division «Entomologie», gérée par la Faculté d'agriculture, réalise enseignements et recherches sur les insectes utiles, les insectes industriels et les insectes nuisibles pour vérifier leurs effets sur les systèmes agricoles, et sur la gestion et la conservation de la biodiversité des insectes. La Division «Entomologie» a ouvert la voie à l'élevage des insectes et elle est l'une des trois seules universités de Thaïlande qui réalisent des recherches et enseignent l'entomologie aux niveaux du premier cycle et des cycles supérieurs. Le Professeur Yupa Hanboonsong est la personne à contacter comme experte dans le domaine; elle a réalisé plusieurs projets en relation avec la diversité des insectes comestibles en Thaïlande et, en plus, elle a été conseillère technique du projet FAO «Insectes comestibles» en République démocratique populaire lao, de 2010 à 2013.

***Chine***

L'Institut de recherche sur les insectes ressources de l'Académie chinoise des forêts, situé à Kunming, dans la province du Yunnan, est le seul institut de recherche forestière dans le sud-ouest de la Chine. L'Institut de recherche réalise surtout des recherches appliquées et de base sur les ressources comme les insectes, les plantes d'intérêt économique, les micro-organismes, la restauration de la végétation et la reconstruction écologique. La

recherche, l'exploitation et l'utilisation des insectes ressources constituent des sujets d'étude parmi les plus importants. Les espèces d'insectes objets de ces recherches comprennent les insectes à l'origine de produits industriels (comme les insectes producteurs de laque, les cochenilles à cire blanche, les pucerons gallicoles et les cochenilles à carmin), les insectes de l'environnement, les insectes pollinisateurs, les insectes comestibles, les insectes médicinaux et les insectes ornementaux (papillons). Les domaines de recherche comprennent la biologie, l'écologie, la biologie moléculaire, la chimie, l'utilisation des insectes, la transformation des substances issues des insectes, l'élevage de masse, la culture artificielle et les plantes hôtes. Le groupe de recherche dirigé par le Dr Ying Feng, réalise des travaux de recherche depuis de nombreuses années, sur la culture, la récolte et l'élevage en masse des insectes comestibles en Chine, particulièrement dans le sud-ouest. Ils ont récolté plus de 100 spécimens d'insectes comestibles et médicinaux et publié plus de 20 rapports de recherche et deux livres.

***Kenya***

Au Kenya, le Professeur Monica Ayieko de l'Université des sciences et de technologie Jaramogi Oginga Odinga, collabore avec les autres instituts de recherche kenyans pour attirer l'attention sur les insectes au niveau des universités et au niveau national. Avec les ressources limitées du laboratoire de son université et en cherchant l'aide d'autres institutions ayant des moyens d'analyse des aliments conventionnels, elle a entrepris des analyses nutritionnelles de base des castes ailées de termites comestibles (*Macrotermes* spp.), des mouches du lac (*Chironomus* et *Chaoborus* spp.), de la sauterelle comestible (*Ruspolia differens*) et de la fourmi voleuse africaine (*Carebara vidua*), qui sont facilement disponibles dans la région du lac Victoria. En réponse aux demandes des consommateurs, le Professeur Ayieko a essayé de travailler sur la transformation des termites et des mouches du lac, et a réalisé avec succès des biscuits à base d'insectes, des crackers, des petits pains, des pains de viande et des saucisses.

Le projet WinFood, mentionné plus haut (facilité par l'Université de Copenhague) a collaboré avec les chercheurs de l'Université de Nairobi sur les termites comme additif potentiel dans la nourriture des bébés.

Le Centre international de physiologie et d'écologie des insectes est une organisation de recherche et développement panafricaine basée à Nairobi, au Kenya. Sa mission est de contribuer à atténuer la pauvreté, assurer la sécurité alimentaire et améliorer l'état général de santé des populations vivant sous les tropiques en développant et vulgarisant les outils de gestion et les stratégies relatives aux arthropodes nuisibles et utiles, tout en préservant les richesses naturelles grâce à la recherche et au renforcement des capacités. Le Centre international de physiologie et d'écologie des insectes va continuer à développer, vulgariser et adapter de nouveaux outils et stratégies de gestion des arthropodes, surs pour l'environnement, accessibles, appropriés, socialement acceptables et applicables par les utilisateurs finaux visés, avec une pleine participation des communautés. Son Programme Insectes commerciaux étudie les abeilles, les mélipones et les vers à soie. Le Centre aide au développement de l'apiculture et des produits de la sériciculture, de même que les services de pollinisation, dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Est, du Proche-Orient et d'Afrique du Nord. Il obtient aussi des certifications et développe des liens commerciaux entre entrepreneurs privés.

***Bénin***

À Cotonou, au Bénin, l'organisation à but non lucratif «Centre de recherche pour la gestion de la biodiversité» (CRGB) a réalisé de nombreuses études à caractère environnemental, telles que des inventaires de faune ou de flore, des plans de conservation et de gestion de la nature dans de nombreux pays africains francophones. Au fil des ans, le Centre a accumulé une vaste expérience en entomologie, en protection des cultures, dans les programmes d'IPM, en agriculture durable et en protection de l'environnement.

En 2008, Séverin Tchibozo, Coordonnateur du CRGB, a établi un site Internet et une base de données sur les insectes comestibles, LINCAOCNET, qui contient des informations sur les insectes comestibles au Bénin, au Burkina Faso, au Cameroun, en République centrafricaine, en République du Congo, en République démocratique du Congo, au Mali, en Guinée et au Togo. Il est le résultat de la collaboration entre le CRGB et le Muséum royal de l'Afrique centrale de Tervuren, Belgique.

Le but du projet LINCAOCNET (http://www.africamuseum.be/research/general/research-picture/lincaocnet?set_language=fr&cl=fr) est de recueillir et disséminer vers les populations d'Afrique subsaharienne des informations sur les espèces d'insectes comestibles et leur manutention, ainsi que sur les endroits où les trouver, comment les attraper et les préparer. Cette source d'information sert de base pour une meilleure connaissance scientifique et pour une utilisation améliorée des insectes dans l'alimentation. Le projet promeut l'entomophagie en rendant accessibles à tous les informations sur la gestion et la conservation des insectes comestibles. Le CRGB coopère avec plusieurs institutions de recherche et de développement, africaines et étrangères, dont le Fonds français pour l'environnement mondial, la Fondation Van Tienhoven, le Centre Naturalis pour la biodiversité des Pays-Bas, la Fondation française pour la recherche sur la biodiversité, l'Institut national de la biodiversité du Costa Rica, l'Organisation internationale de la francophonie, le Centre international de recherche agronomique pour le développement (France), le Programme initiative pesticides du Comité de liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique, la Commission internationale des industries agricoles et alimentaires, le Muséum national d'histoire naturelle de Paris (France) et le Muséum royal de l'Afrique centrale de Belgique. Le Bénin fait partie de l'initiative Sud-Sud récente d'échange de connaissances traditionnelles et scientifiques sur l'alimentation avec le Bhutan et le Costa Rica (Encadré 13.5).

ENCADRÉ 13.5

**Échanges internationaux entre pays en développement de savoirs sur l'utilisation des insectes comestibles dans l'alimentation**

Un programme d'échange des connaissances traditionnelles et scientifiques sur l'alimentation a été lancé par le Bénin, le Bhutan et le Costa Rica. Des experts de la Faculté des sciences agronomiques de l'Université d'Abomey/Calavi, au Bénin, le Centre national des champignons au Bhutan et l'Institut national de la biodiversité au Costa Rica ont conjugué leurs efforts dans cette initiative.

En particulier, le Costa Rica et le Bhutan reçoivent des informations du Bénin sur quels insectes sont comestibles et peuvent être introduits dans le régime alimentaire quotidien des populations. Le Costa Rica partage ses connaissances sur comment classer les différentes espèces d'insectes, les différentes façons de les utiliser et comment les élever et les conserver efficacement. Bien que ces insectes constituent une part importante du menu des populations du Bénin, l'expertise sur les façons de mieux les exploiter est absente.

En même temps, l'Institut national de la biodiversité travaille à modifier l'attitude des populations du Costa Rica vis-à-vis des insectes. Le pays héberge 365 espèces d'insectes dont de nombreuses pourraient être utilisées pour nourrir les animaux d'élevage.

*Source:* Cooperation, 2012.

### *Mexique*

L'Université nationale autonome du Mexique, la seconde plus vieille université d'Amérique latine et la plus renommée du Mexique, a une excellente réputation pour ses travaux sur les insectes comestibles. Le Professeur Julieta Ramos Elorduy et son équipe de

l'Institut de biologie, au sein de la Faculté des sciences, se consacrent à l'étude de la biodiversité dans leur pays, utilisant des méthodes classiques ainsi que la biologie moléculaire et la microscopie électronique. L'Institut a un Département de botanique et de zoologie, des stations de recherche biologique dans l'est et dans l'ouest du pays et un jardin botanique à Mexico. Le Laboratoire des insectes comestibles est dédié à l'étude des insectes consommés par les groupes ethniques et à la mise en œuvre des études correspondantes, biologiques et écologiques, y compris celles sur la valeur nutritionnelle. La recherche appliquée comprend la reconnaissance, l'identification, la récolte, la préparation, l'entreposage, la vente et la commercialisation des insectes comestibles. Le but est d'améliorer les moyens de subsistance des populations rurales et de contribuer aux économies régionale et nationale.

Le Professeur Ramos Elorduy a commencé à étudier les insectes comestibles en 1974, et en 1982 elle a écrit un livre intitulé *Insects as a Source of Protein in the Future* (Les Insectes, une source de protéines pour le futur). Ce livre fut suivi en 1984 par *Los Insectos comestibles en el México antiguo* (Les insectes comestibles dans l'ancien Mexique) et en 1998 par *Creepy Crawly Cuisine* (La cuisine rampante et grouillante). Elle a fondé la Société scientifique ethnobiologique et a organisé le Premier congrès d'ethnobiologie en 1994. Elle est reconnue comme une experte en insectes comestibles et médicinaux.

***République démocratique populaire lao***

En République démocratique populaire lao, la Faculté d'agriculture de l'Université nationale du Laos a lancé un programme innovant et réussi de présentation de l'élevage des insectes aux étudiants, associé à une sensibilisation sur la valeur nutritionnelle des insectes et sur leur contribution potentielle aux moyens de subsistance. Les étudiants reçoivent un enseignement sur les techniques de base d'élevage des insectes et élèvent en groupes des grillons dont le point culminant est la récolte et la dégustation des insectes lors d'un important événement mondain. Par la suite, quelques étudiants ont engagé leurs familles dans l'élevage des insectes (P. Durst, communication personnelle, 2012).

## 13.2 S'APPUYER SUR LES SAVOIRS TRADITIONNELS

### 13.2.1 Les récolteurs et éleveurs d'insectes

Les producteurs primaires d'insectes comestibles sont les éleveurs et les récolteurs. Dans la plupart des cas, les savoirs locaux forment la base des récoltes durables et des techniques de récolte. Aussi est-il fondamental de renseigner, de promouvoir et de partager les meilleures pratiques durables. À cette fin, l'enseignement des bonnes pratiques, la formation, et la création d'associations pour permettre l'échange des connaissances peuvent aider les éleveurs ainsi que les récolteurs.

Plusieurs personnes, organisations et compagnies ont soulevé des questions sur les bonnes pratiques d'élevage, les marchés, la transformation et les obligations légales, particulièrement en ce qui concerne les règles d'utilisation des insectes pour l'alimentation humaine et animale. Du fait que cette demande existe, les gouvernements peuvent souhaiter développer les capacités techniques de leurs services agricoles (vulgarisation). Un exemple d'appui possible est donné par le projet «Récoltes et élevages durables d'insectes pour une meilleure alimentation, l'amélioration de la sécurité alimentaire et la génération de revenus au niveau familial» réalisé dans le cadre du Programme de coopération technique de la FAO.

Un aspect intéressant des programmes de formation est l'association des connaissances traditionnelles et des nouvelles technologies. Au Kenya, les méthodes locales de récolte des termites (*Macrotermes subhyalinus*) ont été améliorées pour garantir plus de régularité des récoltes; par exemple, un nouveau piège lumineux a été conçu en collaboration avec l'Institut de recherche et de développement industriel du Kenya (Ayieko *et al.*, 2011).

### 13.2.2 Activités culturelles et gastronomiques (festivals, expositions, restaurants, musées)

Les activités culturelles et gastronomiques comprennent des festivals, des expositions artistiques et scientifiques dans les musées et les zoos, des insectes aux menus des restaurants, des amuse-gueules dans les bars et des cours culinaires. Les gouvernements, les institutions scientifiques, les éleveurs et les producteurs, entre autres, peuvent parrainer de telles activités.

***Musées***

En 2008, le Muséum royal de l'Afrique centrale de Tervuren en Belgique a lancé un projet appelé le Réseau d'information sur la biodiversité en Afrique centrale (CABIN). Le but de ce projet – financé pour cinq ans par l'Agence belge de coopération et de développement – est la mise en œuvre d'un réseau de bases de données sur la biodiversité, en collaboration avec plusieurs institutions de recherche en Afrique centrale (principalement au Burundi, en République démocratique du Congo et au Rwanda). Le projet de base de données LINCAOCNET (voir la section 13.1) a été établi par le CRBG dans le cadre du projet CABIN.

Le Muséum d'histoire naturelle de Londres, qui héberge une des plus riches collections entomologiques du monde, a aussi manifesté son intérêt pour ce sujet, établissant une exposition itinérante dans les centres commerciaux de Londres sur le thème des insectes comestibles (Fairman, 2010). De plus, le zoo des insectes Victoria, situé en Colombie-Britannique, au Canada, propose aux visiteurs de manipuler les insectes.

### 13.2.3 Exemples récents de résultats importants

La recherche sur les insectes comestibles s'est concentrée sur les habitudes alimentaires traditionnelles des peuples indigènes. Julieta Ramos Elorduy a publié un nombre impressionnant d'articles sur l'entomophagie au Mexique de 1977 à nos jours (voir la section 13.1). Une étape majeure a été la publication en 2005, par le Professeur Maurizio G. Paoletti de l'Université de Padoue en Italie, de «Implications écologiques du mini-élevage: Potentiel des insectes, rongeurs, grenouilles et escargots». Ce livre contient les contributions de nombreux auteurs couvrant divers aspects de l'entomophagie dans le monde.

Il y a eu trois réunions internationales au cours desquelles les insectes comestibles ont été abondamment traités:

- En 2000, la Conférence *Les insectes dans la tradition orale* s'est tenue à Paris. Elle était orientée vers les aspects ethniques et comportait un thème sur les insectes comestibles. Le compte rendu a été publié en 2003 (Motte-Florac et Thomas, 2003).
- En février 2008, la FAO a organisé un atelier à Chiang Mai, en Thaïlande, intitulé *«Les insectes forestiers dans l'alimentation: L'Homme a du mordant»*. Il a mis l'accent sur les insectes comestibles dans la région Asie-Pacifique.
- En janvier 2012, la FAO et l'Université de Wageningen ont conjointement organisé au siège de la FAO à Rome, une réunion d'experts sur «l'Évaluation du potentiel des insectes dans l'alimentation animale et humaine et dans le renforcement de la sécurité alimentaire». Cette consultation était la première de ce genre, co-organisée par la FAO (voir la section 1.2).

Le thème des insectes comme source d'aliments pour l'homme et pour les animaux a attiré une forte attention de la part des médias au cours de ces deux dernières années: les journaux nationaux et internationaux, les chaînes de télévision et d'autres médias ont produit des articles et des documentaires sur ce thème. Une forte audience médiatique peut permettre d'influencer l'élaboration des politiques publiques concernant, par exemple, la révision des règlements sur l'alimentation humaine et animale relatifs à l'utilisation des insectes.

## 13.3 RÔLE DES PARTIES PRENANTES DU SECTEUR

Les stratégies de communication des parties prenantes du secteur doivent être exhaustives et cibler la région, la culture, la situation (urbaine, rurale), l’économie, l’environnement, la nutrition, la gastronomie et les traditions. Dans les pays en développement, différentes approches sont nécessaires pour les communautés urbaines, péri-urbaines et rurales.

### 13.3.1 Organismes gouvernementaux

Les organismes gouvernementaux ont des rôles importants à jouer dans la promotion des insectes dans l’alimentation humaine et animale. En particulier, le développement de ce nouveau secteur comme une alternative viable (et respectueuse de l’environnement) au secteur conventionnel de l’alimentation humaine et animale, nécessitera que les organismes gouvernementaux traitent des questions suivantes:

- sensibilisation et collaboration entre les ministères concernés tels que l’agriculture, la santé et l’environnement;
- mise en œuvre des politiques existantes et élaboration de nouvelles politiques telles que des réglementations de l’alimentation humaine et animale;
- création d’incitations destinées aux centres de recherche et de développement ainsi qu’aux formations de niveaux universitaire et postuniversitaire;
- création d’incitations destinées au secteur privé pour l’investissement et le développement technique;
- fourniture d’une assistance technique pour la récolte durable et l’élevage des insectes, par les services de vulgarisation agricole.

Un exemple d’incitation gouvernementale est le projet EU FP 7 «Les insectes, une nouvelle source de protéines» d’une durée de 3 ans et d’un budget de 3 millions d’euros. Démarrant dans la seconde moitié de 2013, ce projet collectif de recherche impliquera diverses universités et compagnies dans l’étude des façons d’élever et de transformer les insectes pour l’alimentation animale.

Une stratégie efficace de communication nécessite de distinguer les insectes pour l’alimentation animale des insectes pour l’alimentation humaine et aussi de minimiser le sensationnalisme de la consommation des insectes en utilisant une littérature bien documentée pour en augmenter la crédibilité. Parmi les approches envisagées pour développer des stratégies efficaces de communication pour les gouvernements, les agences internationales, le secteur privé et les ONG, il faut: adapter les messages aux différents publics cibles; identifier des incitations à l’utilisation d’insectes dans l’alimentation; utiliser des cas de réussite et de bonnes pratiques/expériences réussies pour promouvoir la consommation d’insectes; impliquer les médias (locaux) pour sensibiliser; créer un kit de communication sur l’importance et les opportunités des insectes pour l’alimentation humaine et animale; et rechercher le parrainage de célébrités pour améliorer la crédibilité du secteur.

### 13.3.2 Industrie

Les producteurs industriels ont entrepris des activités de recherche et de développement sur les insectes en coopération avec des institutions scientifiques dans le but de centraliser les informations dispersées, y compris les données, la littérature, l’économie, les méthodes et les pratiques, comme base pour identifier les options d’investissement. L’industrie peut faire avancer davantage les insectes dans le programme en contribuant aux investissements dans les infrastructures, dans la recherche et la technologie, et peut accroître la sensibilisation en commercialisant les produits à destination du grand public.

L’industrie a également de bons contacts avec les responsables de la réglementation et des politiques. Elle pourrait prendre une position proactive en facilitant le développement de règlements avec les agences gouvernementales.

L’industrie pourrait aussi développer une feuille de route pour le secteur privé sur la technologie des protéines d’insectes. Lors de la consultation d’experts en janvier 2012,

les parties prenantes du secteur privé ont souligné la nécessité de créer une association internationale des industries pour soutenir les initiatives du secteur insecte. Ceci pourrait inclure la sensibilisation effective du grand public et l'utilisation d'une langue commune par les parties prenantes industrielles afin d'éviter les confusions et de contribuer à une commercialisation efficace.

### 13.3.3 Organisations non gouvernementales

Les ONG jouent un grand rôle dans la sensibilisation à l'entomophagie, ainsi que dans la promotion de l'élevage des insectes comme stratégie de diversification des moyens de subsistance. Les ONG environnementalistes peuvent contribuer à renforcer les directives pour des récoltes durables en incitant les gouvernements et par des expériences pratiques avec les communautés locales. Les ONG peuvent également sensibiliser sur cette importante activité informelle et la promouvoir comme stratégie environnementale pour l'alimentation humaine et animale sur les ordres du jour politiques des pays développés et en développement.

De plus, les ONG peuvent contribuer à la formation technique des ménages urbains, péri-urbains et ruraux à l'établissement de liens commerciaux, à l'entrepreneuriat, à l'élevage domestique des insectes et à l'identification des objectifs de production (tels que autoconsommation de subsistance, entreprises semi-commerciales et commerciales). Le Centre des insectes aux Pays-Bas et BugsforLife au Bénin sont des exemples de tels projets.

Parmi les autres ressources disponibles en ligne on trouve la Bay Area Bug Eating Society et le site Internet bien connu Girl Meets Bug, géré par Daniella Martin.

### 13.3.4 Entreprises gastronomiques

Rendre les insectes savoureux et tentants est un des plus grands défis auxquels font face les nouvelles entreprises alimentaires basées sur les insectes. Des initiatives comme le Nordic Food Lab à Copenhague (Encadré 13.6) et le projet Ento à Londres sont des exemples de ce grand effort pour rendre ces mets appétissants. Ces organisations se concentrent sur l'optimisation de la couleur, de la texture, du goût et de l'arôme pour rendre les insectes attractifs pour les palais occidentaux. Le Festival Mishikui (dégustation d'insectes) de Tokyo tente de raviver l'intérêt pour les insectes comestibles au Japon (Encadré 13.7).

ENCADRÉ 13.6

**Nordic Food Lab**

(Laboratoire alimentaire nordique, Danemark)

Comment pouvez-vous prendre quelque chose réputé indigeste comme un insecte, et le faire reconnaître comme comestible? Une des nombreuses qualités de l'art culinaire et de la science en général, est qu'elle peut nous apporter une nouvelle compréhension et appréciation du monde. Au lieu de servir un grillon entier sur une assiette, comme l'ont fait d'autres essais de normalisation de l'entomophagie, dans ce cas il est plus efficace de transformer la matière brute en quelque chose qui sera reconnu comme délicieux avant même que sa comestibilité soit mise en question. Si son aspect, son parfum et son goût sont délicieux, il doit être comestible.

La stratégie du Nordic Food Lab est basée sur la supposition suivante: au lieu d'accepter, comme le font les cultures contemporaines, qu'une chose doit être comestible avant d'être délicieuse, ces deux catégories doivent être vues comme distinctes bien qu'imbriquées, comme un diagramme de Venn. Tout comme il existe des aliments qui sont comestibles mais pas nécessairement délicieux (certaines mauvaises herbes comestibles, par exemple), il existe des aliments qui sont délicieux avant que leur digestibilité soit envisagée dans la conscience

*Suite page suivante*

*Encadré 13.6 (suite)*

populaire. C’est cette frontière que le Nordic Food Lab souhaite repousser – pour explorer la vaste gamme de saveurs délicieuses afin d’incorporer une gamme de plus en plus large d’aliments dans la sphère du comestible.

Le Nordic Food Lab est une organisation sans but lucratif qui explore les piliers de la cuisine nordique au travers des gastronomies traditionnelles et modernes, générant de nouveaux savoirs pour les chefs, pour l’industrie et pour le public. Les travaux de recherche se sont concentrés, pour la plupart, sur les aliments sauvages tels que les plantes, les algues, les fruits de mer, le gibier et les insectes comestibles.

*Source:* Nordic Food Lab, 2012.

ENCADRÉ 13.7

**Konchu Ryori Kenkyukai**

(Association de recherche culinaire sur les insectes, Japon)

Au Japon, le Konchu Ryori Kenkyukai (Association de recherche culinaire sur les insectes) a été créé pour souligner la présence de friandises à base d’insectes dans la cuisine traditionnelle japonaise. Le groupe organise le Festival Mishikui (dégustation d’insectes) de Tokyo, qui a fêté sa quatrième année en 2012. Le premier festival de dégustation d’insectes du groupe n’avait réuni que 30 participants, mais le nombre a plus que doublé depuis.

Il y a de nombreux plats d’insectes dans la cuisine traditionnelle japonaise. Par exemple, sanagi, une friandise à base de ver à soie, était un plat assez commun qui reste toujours disponible en conserve. Les autres friandises autrefois communes étaient inago (sauterelles, souvent trempées dans du sucre et de la sauce de soja), hachinoko (larves d’abeilles) et zazamuchi (larves de mouches de pierre). De nos jours cependant, de nombreux Japonais n’ont jamais goûté à de tels plats. Une des raisons du Festival Mishikui de Tokyo est de faire revivre cette ancienne culture culinaire, ainsi que d’entretenir l’intérêt pour de nouvelles saveurs.

*Source:* adapté de Tempelado, 2012.

Dans la plupart de ses travaux, le Nordic Food Lab étudie les relations entre digestibilité et goût délicieux, en posant des questions comme: Qu’est-ce qui rend une chose bonne à manger et pourquoi? Comment arrivons-nous à comprendre plus précisément des systèmes qui se révèlent à nous en différents lieux et à différentes époques? Que pouvons-nous – et que devrions-nous – mettre à «l’intérieur» de nous pour transformer «l’extérieur» en une partie de nous? En explorant la vaste gamme des saveurs, le Nordic Food Lab cherche à changer les ingrédients indigestes en ingrédients comestibles. Les algues sont l’une de ces sources d’aliments: il y a seulement quelques années, elles étaient considérées en Occident soit comme exotiques, soit comme un créneau, mais maintenant, en certains endroits, elles sont célébrées comme de nouveaux ingrédients universels – depuis qu’elles ont été présentées comme délicieuses (Nordic Food Lab, 2012). Le chef du groupe de recherches et développements culinaires dit que le goût délicieux est le premier et le plus important facteur pour établir les bases d’une nouvelle gastronomie. La mayonnaise à base de larves d’abeilles est appréciée, non pas à cause de sa nouveauté mais plutôt en raison de son goût terreux plus prononcé et plus satisfaisant – un goût délicieux exceptionnel (Baines, 2012).

Le projet Ento est une feuille de route pour introduire les insectes comestibles dans les menus occidentaux. Ce groupe de stylistes du Royal College of Art et de l’Imperial College de Londres s’est attaqué à la question de la durabilité avec une approche innovante

dirigée par l'esthétique. Ento se concentre sur l'acceptation et propose la création d'une culture autour des insectes. Ento a pris les sushis comme exemple de nourriture acceptée récemment et les a utilisés comme source d'inspiration pour son concept esthétique. Ils ont conçu une feuille de route pour lancer les insectes en tant qu'aliments nouveaux, ciblant différents groupes du public à différentes étapes. La logique sous-jacente est que tout le monde ne va pas soudainement commencer à consommer de nouveaux aliments, et qu'il est nécessaire de cibler les utilisateurs les plus aventureux avant de proposer ces nouveaux aliments dans les supermarchés comme des produits alimentaires quotidiens normaux.

Ento a réalisé des tests de dégustation de différents insectes préparés et a conclu que le pouvoir d'abstraction était important pour la conception des aliments ainsi que pour l'image de marque de la compagnie. Leurs «Entocubes» cachent l'animal derrière l'aliment et mettent l'accent sur la propreté, le contrôle humain et l'aspect futuriste des insectes dans l'alimentation. Ento conduit des expériences gustatives en utilisant différents types de préparations, tels que la cuisson par ébullition, par friture ou au four. S'appuyant sur une technique appelée «Foodpairing» moléculaire (appariement d'ingrédients), ils ont mis en place une base de données des aliments qui pourraient être utilisés avec des insectes pour créer de nouvelles recettes (Ento, 2012).

À San Francisco, de singuliers clients font la queue pour obtenir des tacos aux chenilles, de la fausse teigne de la cire et des glaces au vers de farine, au Don Bugito Prehispanic Snackeria, la compagnie de Monica Martinez. Cette compagnie fait revivre les nourritures mexicaines traditionnelles préhispaniques, sélectionnées parce qu'elles sont nourrissantes et durables (voir la section 6.3).

L'industrie de la viande peut être utilisée comme modèle pour expérimenter la transformation à l'échelle industrielle des insectes pour le développement de produits. Tout comme la viande transformée contient des ingrédients noncarnés, les produits à base d'insectes peuvent contenir des ingrédients d'autres sources. De plus, plusieurs propriétés physiques et chimiques des produits à base d'insectes doivent être prises en compte, comme la structure, les variations de pH, la couleur, la capacité de rétention de l'eau et la saveur.

# 14. Cadres réglementaires régissant l'utilisation d'insectes pour la sécurité alimentaire

La production, le commerce et l'utilisation des insectes comestibles dans l'alimentation humaine et animale touchent de multiples domaines de réglementation, de la garantie de qualité des produits à l'impact environnemental de l'élevage des insectes. Les cadres réglementaires auxquels se réfère ce chapitre comprennent la législation, les normes et d'autres instruments réglementaires (juridiquement contraignants ou non), aussi bien aux niveaux national qu'international, qui pourraient avoir un rôle dans la régulation de l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine ou animale. Les cadres réglementaires d'utilisation et de conservation des insectes dans les domaines de la conservation de la biodiversité, de la lutte contre les maladies, de l'IPM, de l'assainissement, de la lutte contre les nuisibles et du secteur de la santé, ne sont pas traités ici.

La mondialisation et l'inquiétude croissante des consommateurs, à propos de la qualité des aliments et des méthodes de production, ont fortement modifié les modèles de consommation au cours de ces dernières décennies. Les filières alimentaires sont devenues plus longues et plus complexes en raison du commerce mondialisé des matières premières et des ingrédients alimentaires. En conséquence, la sécurité des aliments et la qualité des produits alimentaires commercialisés ont reçu une attention croissante et les cadres réglementaires qui contrôlent l'alimentation humaine et animale se sont fortement développés ces vingt dernières années.

Dans de nombreuses sociétés, les insectes ne sont pas perçus comme des ingrédients normaux de l'alimentation humaine ou animale et, de ce fait, ils ne tombent que rarement dans les attributions des règlements de l'alimentation humaine ou animale. Aux niveaux nationaux et internationaux, les normes et les règlements attestant de l'utilisation des insectes commlefe ingrédients dans l'alimentation humaine ou animale sont rares (Encadré 14.1).

ENCADRÉ 14.1
**FAOLEX**

FAOLEX est une base de données législatives informatisée, exhaustive et actualisée, qui constitue une des plus grandes collections numérisées au monde de lois nationales et de réglementations sur l'alimentation, l'agriculture et les ressources naturelles renouvelables. L'accès à ces données est libre et disponible en ligne (http://faolex.fao.org). Une recherche dans FAOLEX (effectuée le 29 janvier 2013) en utilisant le mot clé «insectes» a généré 937 références à des lois (dans plus de 50 pays) traitant de sujets liés aux insectes, concernant principalement l'assainissement et la lutte contre les nuisibles dans le secteur agricole. Les lois et règlements sur l'apiculture et l'élevage des vers à soie sont bien développés dans plusieurs pays ayant des productions importantes de miel ou de soie. Quelques pays ont une législation qui fait référence aux insectes dans les aliments en tant qu'impuretés et qui prescrit un taux maximal admissible. Aucune référence n'a pu être trouvée dans la base de données à des pays ayant des lois ou des règlements régissant l'utilisation des insectes comme ingrédients dans l'alimentation humaine ou animale. Il semble donc qu'une législation spécifique pour réglementer l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine ou animale soit encore à développer.

Au mieux, les références législatives aux insectes dans le contexte de l'alimentation, prescrivent les limites maximales des traces d'insectes dans les denrées alimentaires, lorsqu'elles sont inévitables. Des exemples peuvent être trouvés dans les règlements régissant la production de produits secs comme les céréales, la farine, le beurre d'arachides, les fruits, les épices et le chocolat.

L'absence de législation ne veut pas dire que les risques soient négligés, mais que les quantités d'insectes dans les aliments pour humains ou pour animaux, sont actuellement négligeables. Si les insectes devaient devenir un ingrédient plus largement utilisé dans les aliments pour humains ou pour animaux, une évaluation des risques serait nécessaire et un cadre réglementaire approprié devrait être créé.

Par exemple, selon la brochure *Food Defect Action Levels* (Niveaux de défauts dans les aliments déclenchant une action) de la Food and Drug Administration des États-Unis (FDA: Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux), les niveaux moyens de contamination inférieurs à 150 fragments d'insectes dans 100 g de farine de blé ne présentent aucun risque inhérent pour la santé. Le tableau 14.1 donne d'autres exemples tirés de la brochure de niveaux maxima permissibles de contamination par des insectes des produits alimentaires pour les humains (en dessous desquels cette contamination n'est pas considérée dangereuse pour la santé).

TABLEAU 14.1
**Niveaux maxima admissibles de contamination des produits alimentaires par des insectes**

| Produit | Type de contamination | Niveau maximal permissible |
|---|---|---|
| Maïs doux en conserve | Larves d'insectes (ver de l'épi du maïs, ou pyrale du maïs) | Deux larves, ou plus, de 3 mm ou plus longues, exuvies, fragments d'exuvies, la longueur cumulée des insectes ou des fragments d'insectes dépasse 12 mm dans 24 livres de produit |
| Jus d'agrumes en conserve | Insectes et œufs d'insectes | Cinq drosophiles ou plus et autres œufs d'insectes par 250 ml, ou 1 asticot ou plus par 250 ml |
| Brocolis surgelés | Insectes et acariens | Une moyenne de 60 pucerons ou plus, et/ou thrips, et/ou acariens pour 100 g |
| Houblon | Insectes | Une moyenne de 2 500 pucerons ou plus pour 10 g |
| Thym moulu | Débris d'insectes | Une moyenne de de 925 fragments d'insectes ou plus pour 10 g |
| Noix de muscade moulue | Débris d'insectes | Une moyenne de de 100 fragments d'insectes ou plus pour 10 g |

*Source:* USFDA, 2011.

Les «impuretés» dues aux insectes peuvent être, en fait, bénéfiques pour la santé. Par exemple, les populations dans les régions où l'on consomme du riz, ingèrent couramment un grand nombre de larves de charançon du riz (*Sitophilus oryzae*), et il a été suggéré que c'était une source importante de vitamines (Taylor, 1975).

Dans les pays développés, l'absence de législation spécifique pour l'utilisation des insectes comme ingrédients dans l'alimentation humaine et animale est due, entre autres facteurs, au développement extrêmement limité de l'élevage industriel des insectes pour fournir le secteur des aliments pour humains ou pour animaux et des quantités insignifiantes d'insectes consommés comme aliments.

## 14.1 PRINCIPAUX OBSTACLES

Les investisseurs, les éleveurs et les entrepreneurs souhaitant construire des unités d'élevage d'insectes à l'échelle industrielle pour l'alimentation humaine et animale ont des difficultés pour identifier les lois et les règlements appropriés, s'ils existent. Dans de nombreux pays, l'absence de cadre légal pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale est considérée par les investisseurs comme un obstacle majeur (Encadré 14.2).

ENCADRÉ 14.2

**Obstacles à la création de nouveaux marchés dans l'Union européenne**

Les obstacles majeurs à l'élevage des insectes dans l'Union européenne sont:

- des règlements sanitaires stricts pour créer des établissements d'élevage;
- un manque de directives sur l'élevage de masse des insectes;
- un manque de clarté sur l'autorisation ou non des insectes sur le marché par le règlement des nouveaux aliments;
- une information limitée sur les espèces consommées avant le 15 mai 1997, ce qui est nécessaire pour qu'un aliment soit qualifié de «nouvel aliment» (voir Encadré 14.3);
- les restrictions récentes dans l'Union européenne concernant l'alimentation de la volaille, des porcs et des poissons de pisciculture avec des protéines animales transformées (PAT), sans qu'aucune référence aux insectes ne soit faite.

Source: L. Giroud, communication personnelle, 2012

La législation clef de l'Union européenne sur l'alimentation des animaux avec des farines d'insectes peut être résumée comme suit:

- Le catalogue des matières premières pour l'alimentation animale (Règlement n° 68/2013 de la Commission européenne) est une liste non exhaustive. En principe, pour cette raison, les produits non listés peuvent également être mis sur le marché. Les producteurs d'aliments pour animaux sont encouragés à avoir les ingrédients alimentaires importants portés sur la liste et ainsi décrits. Bien que les «invertébrés terrestres» soient décrits au point 9.16.A de la liste («Invertébrés terrestres entiers ou non, à tous les stades de leur vie, autres que les espèces pathogènes pour l'être humain ou les animaux; traitées ou non, par exemple à l'état frais, congelé, séché»), une entrée spécifique pour les «farines d'insectes», par exemple, n'existe pas encore. Une telle addition à la liste pourrait être faite à l'initiative des parties prenantes à travers le Groupe de travail de la filière alimentation animale de l'Union européenne.
- Selon le règlement (CE) n° 1069/2009, les farines d'insectes sont des PAT qui doivent être transformées selon les normes de ce règlement. Le règlement (CE) n° 1069/2009 classe les insectes et d'autres invertébrés comme matériel de catégorie 3 (qui convient mais n'est pas destiné à la filière d'alimentation humaine). En tant que tels, ils conviennent à l'alimentation du bétail, particulièrement les poissons, la volaille et les porcs.

Cependant, malgré le règlement (CE) n° 1069/2009, le règlement (CE) n° 999/2001 interdit l'alimentation des animaux d'élevage avec des PAT, à l'exception des protéines hydrolysées[15]; les protéines dérivées des insectes correspondent à la définition des PAT[16]. Ainsi, les farines d'insectes ne peuvent pas être couramment utilisées dans l'Union européenne pour nourrir des animaux destinés à l'alimentation humaine, et ne peuvent servir qu'à nourrir les animaux de compagnie. En référence au règlement (CE) n° 999/2001 (le règlement «ESB»), les autorités à différents niveaux appliquent l'interdiction d'utiliser des farines d'insectes pour nourrir les animaux d'élevage. Toutefois, dans sa version originale, le règlement «ESB» n'ordonnait que l'interdiction de l'utilisation des protéines de mammifères dans l'alimentation animale. C'est toujours évident dans la version actuelle du préambule et de l'article 7(4).

En juillet 2012, un assouplissement de cette interdiction a été approuvé pour permettre l'utilisation de ces PAT pour nourrir les espèces aquacoles. Cette modification doit formellement commencer début 2013 et sera appliquée à partir du 1er juin 2013. Lorsque certaines conditions seront remplies l'Union européenne a aussi l'intention de ré-autoriser l'utilisation de ces PAT pour l'alimentation de la volaille et des porcs (W. Trunk, communication personnelle, 2012).

*Suite page suivante*

*Encadré 14.2 (suite)*

L'Union européenne promeut l'élevage en plein air des porcs et de la volaille, dans lequel la consommation d'invertébrés n'est pas seulement tolérée, mais vue comme une procédure correcte en termes à la fois de bien-être animal et de prise d'aliments, car la volaille et les porcs libres de circuler, consomment des insectes comme aliments naturels. Cependant, ces «aliments naturels» ne sont pas analysés pour rechercher une éventuelle pollution comme par exemple par des métaux lourds, des PCB/dioxines ou des pesticides.

[15] Règlement (CE) n° 999/2001. Annexe IV (modifié par le règlement de la Commission (CE) n° 1292/2005; règlement (CE) n° 1923/2006 et règlement de la commission (UE) n° 56/2013).

[16] Règlement de la commission (UE) n° 142/2011. L'annexe 1(5) définit les protéines animales transformées comme des «protéines animales dérivées entièrement de matériels de catégorie 3, qui ont été traités… afin de les rendre utilisables directement comme matières alimentaires ou tout autre usage, comme l'alimentation des animaux de compagnie, ou comme fertilisants organiques ou en amendement des sols.»

Selon certains producteurs d'insectes pour l'alimentation humaine et animale, les obstacles à l'établissement d'un marché pour les insectes et leurs implications pour le commerce sont le résultat des facteurs suivants:

- Les règlements et législations incertains sur l'élevage et la vente d'insectes pour la consommation humaine et animale sont un obstacle. Par exemple, aux États-Unis la brochure *Food Defect Action Levels* de la FDA liste les pourcentages autorisés de fragments d'insectes dans l'alimentation, cependant les insectes comme aliments ne semblent pas tomber dans une quelconque catégorie. Dans l'Union européenne, le règlement relatif aux nouveaux aliments (Règlement (CE) n° 258/97) (Commission européenne, 1997), qui régit les aliments et les ingrédients alimentaires qui n'étaient pas utilisés dans l'alimentation humaine de façon significative avant le 15 mai 1997, restreint le commerce des insectes, même s'ils sont consommés dans d'autres pays (Lähteenmäki-Uutela, 2007).
- Les difficultés de compréhension des informations nationales et internationales concernant la transformation et la qualité des produits, le petit nombre de réseaux entre producteurs et l'absence de demande de grandes quantités pour la consommation humaine dans les pays développés sont des obstacles additionnels.
- L'absence de sensibilisation des consommateurs et des acheteurs sur les marchés existants conduit à une demande faible.
- Il est difficile de commercialiser les insectes pour la consommation humaine car ils sont perçus comme essentiellement insalubres.

## 14.2 CADRE LÉGAL ET STANDARDISATION

Les normes internationales peuvent servir de base utile aux pays pour établir leurs cadres réglementaires pour l'alimentation animale et humaine. Aligner la législation aux normes internationales, particulièrement avec les normes du Codex Alimentarius (Encadré 14.3), facilite leur conformité avec les règles commerciales, permet et favorise le commerce des aliments pour les hommes et pour les animaux.

Les dispositions spécifiques légales sur l'utilisation des insectes dans la production d'aliments pour les hommes et pour les animaux devraient servir à contrôler et réguler l'utilisation des insectes par les transformateurs industriels et devraient garantir l'accès des consommateurs à l'information. Dans ce but, les régulateurs doivent évaluer les risques potentiels de l'utilisation des insectes, en termes à la fois d'espèces et de quantités. Les cadres législatifs les plus protecteurs pour l'intérêt des consommateurs doivent aussi se concentrer sur l'information disponible sur l'emballage des produits alimentaires et sur celle obtenue grâce aux résultats des évaluations des risques dus aux effets des insectes sur la santé humaine.

ENCADRÉ 14.3

**Codex Alimentarius**

En tant que norme de référence internationale pour l'alimentation humaine et animale, une norme du Codex Alimentarius sur l'utilisation des insectes comme ingrédients alimentaires pourrait servir, pour les législations nationales, de référence sur la production des insectes et leur utilisation dans l'alimentation humaine et animale, des points vue à la fois de la sécurité et de la qualité.

Alors que le Codex Alimentarius ne contient aucune norme spécifique sur les insectes, frais ou transformés, pour leur utilisation dans l'alimentation humaine et animale, «les insectes» sont cités dans les normes du Codex Alimentarius en tant «qu'impuretés». Par exemple, la norme du Codex 152-1985 stipule que la farine de blé doit être exempte de:

- saveurs anormales, odeurs et insectes vivants;
- débris (impuretés d'origine animale, y compris insectes morts) en quantités qui peuvent représenter un risque sanitaire pour l'homme.

La FAO et l'OMS ont mis en place la Commission du Codex Alimentarius en 1963 avec pour objectifs principaux de protéger la santé des consommateurs et de s'assurer de pratiques commerciales loyales dans le commerce alimentaire[17]. Actuellement, la Commission comporte 185 membres – 184 pays et 1 organisation (l'UE) – et 204 observateurs. La Commission du Codex Alimentarius développe des normes alimentaires internationales harmonisées, des directives et des codes de conduite qui contribuent à la sécurité, à la qualité et à la loyauté du commerce international des aliments. Les normes du Codex se fondent sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles et sont appuyées par des organismes internationaux indépendants d'évaluation des risques et par des consultations ad-hoc organisées par la FAO et l'OMS. Bien que leur application par les membres soit volontaire, les normes du Codex sont utilisées dans de nombreux cas comme base pour la législation nationale.

Dans le cadre de l'Accord de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires (SPS), les législations nationales qui se conforment aux normes du Codex sont présumées respecter les obligations internationales résultant de l'Accord SPS. Selon l'Accord SPS:

> Les Membres doivent fonder leurs mesures sanitaires ou phytosanitaires sur les normes, les directives ou les recommandations internationales… Les mesures sanitaires ou phytosanitaires qui se conforment aux normes, directives ou recommandations internationales devraient être… présumées compatibles avec les dispositions concernées de cet Accord et de celles du GATT 1994 (Article 3, paragraphes 1 et 2).

Ces «normes, directives et recommandations internationales» pour la sécurité des aliments sont elles-mêmes définies comme:

> les normes, directives et recommandations établies par la Commission du Codex Alimentarius relatives aux additifs alimentaires, aux médicaments vétérinaires et aux résidus de pesticides, aux contaminants, aux méthodes d'échantillonnage et d'analyse, ainsi qu'aux codes d'usage et aux directives en matière d'hygiène (Accord SPS, Annexe A, Paragraphe 3(a)).

Les Membres de l'OMC qui souhaitent appliquer des mesures plus strictes de sécurité des aliments que celles établies par le Codex peuvent se voir demander une justification scientifique de ces mesures (WHO/FAO, 2012).

[17] Voir la page d'accueil du Codex Alimentarius à: www.codexalimentarius.org

En 2010, le Gouvernement de la République démocratique populaire lao a proposé au Comité FAO/OMS de coordination du Codex pour l'Asie que des normes pour le commerce régional et la sécurité des aliments soient développées pour le grillon domestique. Toutefois, cette proposition n'a pas été acceptée, car les données indiquaient que le niveau de commerce de ces insectes n'était pas vérifiable, ce qui ne permettait pas de garantir une telle action (FAO, 2010a).

Des groupes de pression s'activent de plus en plus pour le développement de législations spécifiques sur l'utilisation des insectes dans le secteur de l'alimentation animale. Ces groupes de pression existent au niveau national aux États-Unis (y compris dans le cadre d'actions conduites par des compagnies privées américaines pour obtenir l'approbation par la FDA de l'utilisation d'insectes dans l'alimentation animale) et au niveau européen.

L'élevage des insectes et des arthropodes comestibles pour la consommation humaine, appelé «mini-élevage», apparaît désormais comme une forme d'élevage respectueuse de l'environnement. Récemment, suite à une action intense des groupes de pression du secteur de l'alimentation animale, des initiatives ont commencé à créer un environnement favorable au développement de règles et de normes pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation pour l'aquaculture, et à un moindre degré dans l'alimentation humaine. Au niveau européen, par exemple, les critères de qualité et de sécurité pour les aliments pour animaux, à base d'insectes, sont en cours d'étude.

La production et la consommation d'insectes doivent aussi être analysées du point de vue de leur impact potentiel sur la santé et sur la biodiversité ainsi que sur les risques environnementaux potentiels liés à la production des insectes et à leur diffusion, y compris la dispersion accidentelle d'insectes étrangers à leur zone de production. Des évaluations des risques et des mesures de contention doivent être prises à l'encontre de l'apparition potentielle de maladies dangereuses pour la santé humaine ou animale, et pour la protection des végétaux. D'autres cibles de la législation pourraient inclure la régulation du commerce entre pays, d'insectes vivants destinés à la reproduction.

Comme c'est souvent le cas des industries émergeantes, et comme cela a été identifié par la réunion d'experts sur «l'Évaluation du potentiel des insectes dans l'alimentation animale et humaine et dans le renforcement de la sécurité alimentaire», à Rome, en janvier 2012, en plus du développement de normes publiques nationales et internationales, l'autorégulation par les producteurs/transformateurs d'insectes et autres parties prenantes du secteur, peut être utile pour favoriser l'harmonisation et la reconnaissance mutuelle. Ceci pourrait inclure le développement de normes, de codes de pratiques/procédures, de mesures de qualité des produits pour gagner en crédibilité.

Le concept d'«aliment nouveau» conduit au développement de règles et de normes pour les insectes dans l'alimentation humaine. Le terme «aliment nouveau» fait référence aux produits alimentaires qui n'ont aucune référence historique de consommation humaine dans la région ou dans le pays en question. Les exemples de définitions d'aliments nouveaux dans des législations nationales sont:

- «un aliment qui n'a aucune référence historique de consommation humaine en Australie ou en Nouvelle-Zélande» (Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 1.5.1);
- «une substance, y compris un micro-organisme, qui ne présente pas d'antécédents d'innocuité comme aliment» (Règlements du Canada sur les aliments et les drogues (C.R.C., c.870) – B.28.001).

Le terme peut comprendre les insectes comestibles, les huiles, les baies et les denrées alimentaires produites par la biotechnologie (y compris les aliments génétiquement modifiés). Les aliments produits par la biotechnologie peuvent être globalement considérés comme nouveaux, mais les denrées alimentaires dérivées de produits naturels, bien que nouvelles dans certains pays, peuvent représenter une part considérable du régime normal dans d'autres pays. Il a été suggéré qu'un «long antécédent d'utilisation humaine» implique que les insectes récoltés intentionnellement pour l'utilisation ou la

consommation humaine ne posent aucun risque significatif (Banjo, Lawal et Songonuga, 2006b). Cependant, dans plusieurs pays développés, comme aux États-Unis, au Canada et dans l'UE, certaines espèces d'insectes comestibles peuvent nécessiter une évaluation d'innocuité avant commercialisation et autorisation de vente en tant qu'aliment ou ingrédient nouveau (Encadré 14.4).

ENCADRÉ 14.4

**Définition des nouveaux aliments et nouveaux ingrédients alimentaires par la Commission européenne**

Le règlement (CE) n° 258/97, article 3(1), du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 concernant les aliments nouveaux et les ingrédients alimentaires nouveaux considère que les aliments et les ingrédients alimentaires qui n'ont pas été utilisés en alimentation humaine de façon significative dans l'Union européenne avant le 15 mai 1997, sont des «aliments nouveaux» ou des «ingrédients alimentaires nouveaux».

Selon ce règlement, de tels aliments nouveaux ou ingrédients alimentaires nouveaux doivent être, entre autres choses (EC, 1997):

- sûrs pour les consommateurs;
- et correctement étiquetés pour ne pas induire les consommateurs en erreur.

L'Union européenne impose l'évaluation des risques (évaluation d'innocuité avant la mise sur le marché) pour chaque espèce ou produit, avant sa commercialisation, et peut, dans une seconde étape, conduire un processus d'autorisation (conditions d'utilisation, étiquetage et appellation).

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (ESFA), dont les fonctions sont de garantir au consommateur protection et maintien de la sécurité des aliments en Europe, réalise des évaluations des risques pour les futurs aliments nouveaux. En 2011, l'EFSA a commencé à identifier les agences de communication qui traitent des insectes comestibles pour s'en servir comme d'un premier filtre pour l'Autorité, qui réalise des analyses de données et la détection des signaux. Lors de ce processus l'EFSA a récolté davantage d'informations sur ce sujet. L'UE finance un projet pour étudier les insectes comme source potentielle de protéines pour l'alimentation animale (KBBE 2012.2.3-05, voir chapitre 13) et elle est aussi impliquée dans un réseau de parties prenantes de ce secteur. Pour inclure les insectes dans le régime alimentaire comme aliment nouveau, une évaluation d'innocuité avant commercialisation doit être réalisée et l'EFSA sera requise pour effectuer une évaluation des risques.

Le concept «aliment nouveau» peut impliquer de lourdes charges administratives et des coûts. Aussi, bien qu'il puisse protéger la santé des consommateurs, il peut être hors d'atteinte des petits éleveurs souhaitant produire une «nouvelle» espèce d'insecte. Dans l'Union européenne, une proposition courante pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine est de considérer tous les insectes comme des aliments nouveaux, à l'exception des 5 ou 10 espèces d'insectes (encore à définir) qui étaient les plus courantes en élevage en Europe avant 1997.

Dans un pays donné, le cas peut se présenter qu'une espèce d'insecte comestible ait des antécédents d'utilisation sans risque. Très probablement, l'autorité de régulation aura à réaliser une évaluation du risque, et des informations complémentaires, telles que les combinaisons insectes/pathogènes, seront nécessaires.

Il y a encore beaucoup de travail à faire et de nombreux sujets doivent être pris en compte lors de l'élaboration de cadres normatifs et de l'adaptation de lois sur les aliments incluant les insectes. Ainsi, lors de la consultation d'experts de janvier 2012, un groupe de travail a fait, pour l'élaboration des cadres réglementaires, les propositions suivantes (FAO, 2012f):

- Les chercheurs, les industriels et les régulateurs doivent collaborer de façon proactive et contribuer à l'autorégulation du secteur. Une analyse des politiques existantes et des règlements concernant l'alimentation humaine et animale est nécessaire et elle peut être complétée en:
  - communiquant avec les organismes de régulation concernés et leurs contacts clefs;
  - identifiant les obstacles et les points où les cadres existants doivent être améliorés.
- Le développement de nouvelles politiques est inévitable. Il sera nécessaire d'écouter les régulateurs pour savoir à quoi s'attendre, être attentif aux consommateurs qui peuvent souhaiter des règlements particuliers, et collaborer avec les détaillants. L'initiative Global Good Initiative Practices est un exemple intéressant de modèle pour faciliter une telle consultation. Les exemples de nouveaux règlements pouvant être envisagés comprennent les normes de qualité, le contrôle de qualité et les directives d'assurance de la qualité sur les contaminants et sur la composition nutritionnelle; les exigences d'étiquetage, les évaluations d'impacts sur l'environnement; et les exigences concernant les aliments pour animaux (par exemple, le fumier peut-il être utilisé?).
- Les cadres réglementaires des secteurs publics et privés devront être standardisés aux niveaux national et international.

Un degré déterminé de sécurité garantie est nécessaire pour tout produit. Des pratiques de production possibles (y compris les mesures sanitaires) doivent être développées, et pour lesquelles les autres industries peuvent servir d'exemples. Les normes publiques et privées peuvent servir de base à des pratiques réglementaires harmonisées pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale. Des cadres législatifs devront être développés pour établir et renforcer des dispositions contraignantes et pour assurer la mise en œuvre et l'application de ces dispositions dans tout le secteur. L'harmonisation internationale grâce aux normes privées ou publiques sera bénéfique au secteur, mais difficile à atteindre en raison de la diversité des espèces d'insectes et des méthodes de transformation. Néanmoins, ce dilemme doit être résolu.

Les recommandations pour le cadre réglementaire sur les insectes comestibles sont les suivantes:

- Promouvoir la standardisation publique et privée aux niveaux national et international pour les insectes dans l'alimentation humaine et animale, accompagnée d'une évaluation d'innocuité avant mise sur le marché (suivant les normes du Codex Alimentarius, ou d'autres organismes établissant des normes).
- Promouvoir l'établissement de normes nationales et internationales appropriées et de cadres législatifs pour faciliter l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale, le développement et la formalisation du secteur.
- Prendre en considération les effets potentiels de la production et de l'élevage des insectes sur l'environnement, et les implications environnementales et commerciales du transport international des insectes, lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des cadres réglementaires pour la production et l'utilisation des insectes. Ceci doit contraindre les régulateurs à faire attention à une grande diversité de domaines réglementaires, y compris la législation phytosanitaire, la biodiversité, la lutte contre les maladies et l'environnement.

# 15. Marche à suivre

L'avancement récent de la recherche et du développement montre que les insectes sont une alternative prometteuse à la production conventionnelle de viande, que ce soit directement pour la consommation humaine ou pour une utilisation indirecte comme aliments pour les animaux. Néanmoins, il reste encore énormément de travail à faire par un grand nombre de personnes concernées pendant de nombreuses années pour bénéficier pleinement du potentiel qu'offrent les insectes pour la sécurité alimentaire humaine et animale. La feuille de route, rédigée lors de la réunion d'experts sur «l'Évaluation du potentiel des insectes dans l'alimentation animale et humaine et dans le renforcement de la sécurité alimentaire» qui s'est tenue à Rome en janvier 2012, résume les principales tâches qui restent à accomplir:

- Fournir davantage de données sur les valeurs nutritionnelles des insectes afin de les promouvoir plus efficacement comme source de nourriture saine.
- Étudier la durabilité et quantifier les impacts environnementaux de la récolte et de l'élevage des insectes en comparaison avec les activités traditionnelles agricoles et d'élevage du bétail.
- Clarifier et argumenter les bénéfices socioéconomiques que la récolte et l'élevage des insectes peuvent présenter, en se concentrant sur l'amélioration de la sécurité alimentaire des éléments les plus pauvres de la société.
- Développer un cadre législatif clair et exhaustif aux niveaux national et international qui peut ouvrir la voie à un accroissement des investissements, conduisant au plein développement (de l'échelle domestique à l'échelle industrielle) de la production et du commerce international des produits à base d'insectes pour l'alimentation animale et humaine.

Il faut rappeler aux consommateurs que manger des insectes n'est pas seulement bon pour leur santé, c'est aussi bon pour la planète. De plus, l'élevage des insectes doit être promu et encouragé comme activité facilitant l'insertion sociale. L'élevage des insectes demande un minimum de connaissances techniques et d'investissement financier, et, comme il ne nécessite aucun accès à la terre ou aucun droit de propriété, il reste accessible même aux membres les plus pauvres et les plus vulnérables de la société. Dans le futur, comme les prix des protéines animales conventionnelles augmentent, les insectes peuvent devenir une source moins coûteuse de protéines que la viande produite conventionnellement et que les poissons pêchés en mer. Pour que cela se produise, des innovations technologiques significatives sont nécessaires, ainsi que des changements dans les préférences des consommateurs, dans la législation sur l'alimentation animale et humaine concernant les insectes, et une production alimentaire plus durable.

Les insectes peuvent contribuer à la sécurité alimentaire et font partie de la solution aux pénuries en protéines, grâce à leur grande valeur nutritionnelle, leurs faibles émissions de GES, leurs faibles besoins en terres et leur grande efficacité de conversion des aliments pour animaux en protéines pour l'alimentation humaine. La production de biomasse d'insectes pour l'alimentation du bétail et des poissons peut être combinée à la biodégradation du fumier, au compostage et à la désinfection des déchets. Les insectes peuvent partiellement remplacer les ingrédients protéiniques de plus en plus coûteux dans les aliments composés dans les filières d'élevage du bétail, de la volaille et de l'aquaculture. Les céréales, actuellement utilisées dans l'alimentation du bétail, qui représentent souvent la moitié du coût de production de la viande, pourraient alors être utilisées pour la consommation humaine (van Huis, 2013).

Si l'on considère que les insectes font déjà partie des régimes alimentaires humains dans de nombreux pays, leur potentiel doit être réévalué. La récolte durable des insectes comestibles sauvages nécessite des stratégies de conservation de la nature. Les techniques de manipulation de l'habitat permettent d'accroître l'abondance et l'accessibilité des populations d'insectes. Les possibilités de simultanément lutter contre les insectes nuisibles en les récoltant, et de produire des aliments pour l'homme et pour les animaux doivent être exploitées. Des techniques simples d'élevage doivent être mises au point pour certaines espèces prometteuses. La biodisponibilité des micronutriments (particulièrement le fer et le zinc) dans les insectes comestibles nécessite des recherches plus approfondies, étant données les carences massives en ces éléments sous les tropiques.

En Occident, l'acceptabilité par les consommateurs sera déterminée en grande partie par les prix, les bénéfices environnementaux perçus, et la mise au point par les industriels de la restauration de produits savoureux à base de protéines d'insectes. Des techniques de transformation et de conservation sont nécessaires pour accroître la durée de vie des produits alimentaires à base d'insectes, conserver leur qualité et accroître leur acceptabilité. Les techniques de transformation sont aussi indispensables, pour produire à partir des insectes, des farines alimentaires pour les animaux et les poissons et pour extraire les protéines qui seront utilisées comme ingrédients dans l'industrie des aliments pour l'homme.

Si l'on considère les énormes quantités de biomasse d'insectes nécessaires pour remplacer les ingrédients actuels riches en protéines comme les farines et les huiles de poisson et de soja, des installations d'élevage en masse devront être développées, produisant de façon stable des produits sûrs et fiables. Le défi pour cette nouvelle filière sera d'assurer avec un bon rapport coût-efficacité, une production fiable de biomasse d'insectes de haute qualité et de façon suivie. Les cadres réglementaires doivent être développés. Une collaboration étroite entre gouvernement, industrie et recherche sera essentielle pour réussir.

TABLEAU 15.1
**Noms latin et vernaculaires en français et anglais des insectes cités dans «Études FAO Forêts n° 171»**

| Nom latin | Nom anglais | Nom français |
|---|---|---|
| *Acheta domesticus* | House cricket | Grillon domestique |
| *Acheta testacea* | Tropket, ground cricket | Grillon domestique tropical, grillon terrestre |
| *Acridia exaltata* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Acrida lata* | Chinese grasshopper | Sauterelle chinoise |
| *Aegiale hesperialis* | White maguey worm | Ver blanc du maguey |
| *Agonoscelis pubescens* (Syn. *Agonoscelis versicolor*) | Sorghum bug, Sudan millet bug | Punaise soudanaise du mil |
| *Agonoscelis versicolor* (Syn. *Agonoscelis pubescens*) | Sorghum bug, Sudan millet bug | Punaise soudanaise du mil |
| *Agrius convolvuli* | Sweet potatoe hawkmoth | Sphinx du liseron, sphinx à cornes de bœuf |
| *Agrotis infusa* | Cutworm, Bogong moth | Ver-gris, noctuelle Bogong |
| *Alphitobius diaperinus* | Lesser mealworm | Petit ténébrion, petit ver de farine |
| *Anabrus simplex* | Mormon cricket | Sauterelle mormone |
| *Anaphe panda* | Wild silkmoth | Chenille processionnaire du Kudu Berry |
| *Anaphe venata* | Seasonal silkworm | Processionnaire du samba |
| *Antheraea pernyi* | Chinese tussah moth, Chinese tasar moth | Ver à soie Tussah, bombyx chinois |
| *Antheraea yamamai* | Japanese oak silkworm | Saturnie du Japon |
| *Apis mellifera* | Honey bee | Abeille domestique |

| Nom latin | Nom anglais | Nom français |
|---|---|---|
| *Apis* spp. | Bees | Abeilles |
| *Apriona germari* | Mulberry longhorn stem beetle | Capricorne du mûrier |
| *Arytaina mopane* | Mopane psyllid | Psylle du mopane |
| *Aspongopus viduatus* (Syn. *Coridius viduatus*) | Melon bug | Punaise du melon |
| *Atta mexicana cephalotus* | Leafcutter ant | Fourmi coupeuse de feuilles, fourmi champignonniste |
| *Atta mexicana* | Leafcutter ant | Fourmi coupeuse de feuilles, fourmi champignonniste |
| *Augosoma centorus* | Scarab beetle | Augosome, scarabée rhinocéros africain |
| *Blaptica dubia* | Dubia cockroach, orange spotted cockroach, Argentine wood cockroach | Blatte géante d'Argentine |
| *Bombus* spp. | Bumblebees | Bourdons |
| *Bombyx mori* | Domesticated silkworm | Bombyx du mûrier, ver à soie domestique |
| *Brachytrupes achatinus* (Syn. *Tarbinskiellus portentosus*) | Taiwan giant cricket | Grillon géant de Taïwan |
| *Brachytrupes portentosus* | Large brown cricket, giant cricket, short-tail cricket | Grillon à queue courte |
| *Caelifera* spp. | Grasshoppers | Sauterelles |
| *Carebara vidua* | African thief ant | Fourmi voleuse africaine (free translation) |
| *Cerambyx cerdo* | Great capricorn beetle | Capricorne du chêne, grand capricorne |
| *Ceratitis capitata* | Medfly | Mouche méditerranéenne des fruits |
| *Chaoborus* spp. | Lake flies, chironomid midge | Chironomes |
| *Chilecomadia moorei* | Butterworm | Ver de beurre, ver Tébo |
| *Chironomus* spp. | Lake flies, chironomid midge | Chironomes, vers de vase |
| *Chortoicetes terminifera* | Australian plague locust | Criquet australien |
| *Cicadidae* | Cicadas | Cigales |
| *Cirina forda* | Pallid Emperor Moth, Shea defoliator | Défoliatrice du karité |
| *Cochliomyia hominivorax* | Screw-worm fly | Lucilie bouchère |
| *Comadia redtenbacheri* (Syn. *Xyleutes redtenbacheri*) | Red maguey worm | Ver rouge du maguey |
| *Coridius viduatus* (Syn. *Aspongopus viduatus*) | Melon bug | Punaise du melon |
| *Corisella mercenaria* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Corisella texocana* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Corixa* spp. | Water bugs | Punaises aquatiques |
| *Cotesia flavipes* | Larval parasitoid wasp (Hymenoptera) | Guêpe parasitoïde des larves (Hyménoptère) |
| *Cybister* spp. | Diving beetle | Dytique |
| *Cyrtacanthacris tatarica* | Brown-spotted locust, grasshopper, | Criquet brun tacheté |
| *Dactylopius coccus* | Cactus cochineal bug | Cochenille du cactus |
| *Daphnis* spp. | Hawkmoth | Papillon sphinx |
| *Dolichovespula* spp. | Yellow jacket wasps | Guêpes jaunes |
| *Drosicha* sp. | Scale insects | Cochenilles |
| *Drosophila melanogaster* | Fruitfly | Mouche du vinaigre |
| *Dynastinae* | Rhinoceros beetles | Scarabées rhinocéros |
| *Encosternum delegorguei* (Syn. *Natalicola delegorguei*) | Edible stink bug | Punaise puante comestible |

| Nom latin | Nom anglais | Nom français |
|---|---|---|
| *Endoxyla leucomochla* (Syn. *Xyleutes leucomochla*) | Witchetty grub | Larves du witchetty (chenilles de cossidé) (*Acacia kempeana* et *A. ligulata*) |
| *Eriogyna pyretorum* | Camphor silkworm | Ver à soie du camphrier |
| *Euschistus* sp. | Stink bug | Punaise puante |
| *Galleria mellonella* | Wax moth | Fausse teigne de la cire |
| *Goliathus goliathus* | African Goliath Beetle | Scarabée goliath africain |
| *Gonimbrasia belina* (Syn. *Imbrasia belina*) | Mopane caterpillar | Chenille mopane |
| *Graptocorixa abdominalis* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Graptocorixa bimaculata* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Gryllodes sigillatus* | Tropical house cricket, banded cricket | Grillon replet, grillon domestique tropical, grillon à ailes courtes |
| *Gryllus bimaculatus* | Two spotted cricket, field cricket | Grillon provençal |
| *Gryllus testaceus* | Field cricket | Grillon des champs |
| *Gynanisa maja* | Emperor moth | Empereur moucheté |
| *Helicoverpa zea* | Corn ear worms | Ver de l'épi du maïs |
| *Hermetia illucens* | Black soldier fly | Mouche soldat noire |
| *Hieroglyphus banian* | Rice grasshopper | Sauterelle du riz |
| *Hodotermes mossambicus* | African harvester termite | Termite moissonneur |
| *Holotrichia* sp. | Scarabid beetle | Ver blanc |
| *Homorocoryphus nitidulus vicinus* (Syn. *Ruspolia differens*) | Longhorn grasshopper, edible grasshopper, senene | Sauterelle comestible |
| *Hydrophilus* sp. | Water scavenger | Hydrophile |
| *Idioscopus nitidulus* | Mango leafhopper | Cicadelle du manguier |
| *Imbrasia belina* (Syn. *Gonimbrasia belina*) | Mopane caterpillar | Chenille mopane |
| *Imbrasia epimethea* | Saturniidae polyphagous caterpillar | Chenille saturnide polyphage |
| *Imbrasia oyemensis* (Syn. *Nudaurelia oyemensis*) | Sapele caterpillar | Chenille du sapelli |
| *Imbrasia truncata* | Mango caterpillar | Chenille du manguier |
| *Ioba* | Cicada | Cigale |
| *Krizousacorixa azteca* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Krizousacorixa femorata* | Water bug | Punaise aquatique |
| *Laccotrephes* sp. | Water scorpion | Scorpion d'eau |
| *Lepidiota* spp. | Sugarcane white grubs | Hannetons du sud-est asiatique, hannetons de la canne à sucre |
| *Lethocerus indicus* | Giant water bug | Nèpe géante, scorpion d'eau |
| *Liometopum apiculatum* | Navajo Reservation ant | Fourmis de la Réserve Navajo |
| *Liometopum* sp. | Velvety tree ants | Escamoles |
| *Locusta migratoria* | Migratory locust | Criquet migrateur |
| *Locusta pardalina* | South African migratory locust | Criquet migrateur d'Afrique australe |
| *Lucanidae* | Stag beetles | Lucanes |
| *Lucilia sericata* | Common green bottle fly | Mouche verte |
| *Macrotermes bellicosus* | Fungus-growing termites | Termite belliqueux |
| *Macrotermes* spp. | Fungus-growing termites | Termites champignonnistes |
| *Macrotermes subhyalinus* | Subterranean fungus-growing termite | Termite champignonniste souterrain |
| *Marchalina hellenica* | Mediterranean pine honeydew scale insect | Cochenille des pins méditerranéens |

| Nom latin | Nom anglais | Nom français |
|---|---|---|
| *Melanoplus femurrubrum* | Red-legged grasshopper | Mélanople à pattes rouges |
| *Melanoplus spretus* | Rocky Mountain locust | Criquet des Montagnes Rocheuses |
| *Melipona* spp. | Stingless bee | Mélipones, abeilles sans aiguillon |
| *Melolontha melolontha* | Common European cockchafer | Hanneton européen commun |
| *Mormidea notulata* | Stink bug | Punaise puante |
| *Musca domestica* | Common housefly | Mouche domestique |
| *Myrmecocystus melliger* | Honey ant | Fourmi-pot-de-miel |
| *Natalicola delegorguei* (Syn. *Encosternum delegorguei*) | Edible stink bug | Punaise puante comestible |
| *Neochetina* spp. | Snout beetle | Charançons |
| *Nilaparvata lugens* | Brown planthopper | Cicadelle brune du riz |
| *Notonecta* spp. | Water bugs | Punaises aquatiques |
| *Nudaurelia oyemensis* (Syn. *Imbrasia oyemensis*) | Sapele caterpillar | Chenille du sapelli |
| *Oecophylla longinoda* | Weaver ant | Fourmi tisserande |
| *Oecophylla smaragdina* | Green weaver ant | Fourmi tisserande verte |
| *Oecophylla* spp. | Weaver ants | Fourmis tisserandes |
| *Omphisa fuscidentalis* | Bamboo caterpillar, bamboo borer, bamboo worm | Chenille du bambou, foreuse du bambou, ver du bambou |
| *Orientopsaltria* spp. | Edible cicadas | Cigales comestibles |
| *Orthoptera* | Grasshoppers | Sauterelles |
| *Oryctes rhinoceros* | Coconut rhinoceros beetle | Scarabée rhinocéros du cocotier |
| *Oryctes* spp. | Rhinoceros beetles | Scarabées rhinocéros |
| *Ostrinia nubialis* | Corn borer | Pyrale du maïs |
| *Oxya fuscovittata* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Oxya hyla hyla* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Oxya japonica* | Rice grasshopper | Criquet d'Indonésie |
| *Oxya sinuosa* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Oxya velox* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Oxya yezoensis* | Rice grasshopper, rice locust | Sauterelle du riz, criquet du riz |
| *Pachnoda marginata peregrina* | Sun beetle | Cétoine marginée du Kenya |
| *Paradirphia fumosa* | Gusano cuchama (Saturnidae moth) | Gusano cuchama (Papillon Saturnidae) |
| *Patanga succincta* | Bombay locust | Criquet de Bombay |
| *Philosamia cynthia ricini* (Syn. *Samia cynthia ricini*) | Thai silkworm, eri silkworm | Bombyx de l'ailanthe, ver à soie thaï |
| *Platycoelia lutescens* | Andean scarab beetle | Scarabée des Andes |
| *Platypleura* | Cicada | Cigale |
| *Plebeia mexica* | Mexican stingless bee | Mélipone mexicaine |
| *Plecoptera* | Stoneflies | Perles, plécoptères, mouches de pierre |
| *Polymachis dives* | Black weaver ant | Fourmi tisserande noire |
| *Pycna* | Cicada | Cigale |
| *Rhinostomus barbirostris* | Bearded weevil | Charançon barbu |
| *Rhynchophorus bilineatus* | Black palm weevil | Charançon bleu-noir du palmier (Molluques) |
| *Rhynchophorus ferrugineus* | Asian palm weevil, red palm weevil | Charançon asiatique du palmier, charançon rouge du palmier |
| *Rhynchophorus ferrugineus papuanus* | New-Guinean palm weevil | Charançon du palmier de Nouvelle-Guinée |

| Nom latin | Nom anglais | Nom français |
|---|---|---|
| *Rhynchophorus palmarum* | American palm weevil | Charançon sud-américain du palmier |
| *Rhynchophorus phoenicis* | African palm weevil | Charançon africain du palmier |
| *Ruspolia differens* (Syn. *Homorocoryphus nitidulus vicinus*) | Longhorn grasshopper, edible grasshopper | Sauterelle comestible |
| *Ruspolia nitidula* | Large conehead | Conocéphale gracieux |
| *Samia cynthia ricini* (Syn. *Philosamia cynthia ricini*) | Thai silkworm, eri silkworm | Bombyx de l'ailanthe, ver à soie thaï |
| *Scarabaeinae* | Dung beetles | Bousiers |
| *Schistocerca gregaria* | Desert locust | Criquet pèlerin |
| *Scyphophorus acupunctatus* | Agave weevil | Charançon de l'agave |
| *Sitophilus oryzae* | Rice weevil | Charançon du riz |
| *Spathosternum prasiniferum prasiniferum* | Grasshopper | Sauterelle |
| *Sphenarium purpurascens* | Chapulin | Chapuline |
| *Sphenarium* spp. | Chapulines | Chapulines |
| *Stegobium paniceum* | Drugstore beetle | Vrillette du pain, vrillette des boulangeries, stégobie des pharmacies |
| *Syntermes aculeus* | Seedling/sapling termite | Termite phyllophage |
| *Syntermes* spp. | Seedling/sapling termites | |
| *Tarbinskiellus portentosus* (Syn. *Brachytrupes achatinus*) | Taiwan giant cricket | Grillon géant de Taïwan |
| *Teleogryllus mitratus* | Cricket | Grillon |
| *Teleogryllus occipitalis* | Cricket | Grillon |
| *Tenebrio molitor* | Yellow mealworm | Ténébrion meunier, ver de farine |
| *Tessaratoma javanica* | Longan stink bug | Punaise puante du longane |
| *Tessaratoma papillosa* | Litchi stink bug | Punaise puante du litchi |
| *Tessaratoma quadrata* | Stink bug | Punaise puante |
| *Thasus gigas* | Giant mesquite bug | Punaise géante du prosopis |
| *Thaumetopoea processionea* | Oak processionary caterpillar | Chenille processionnaire du chêne |
| *Theretra* spp. | Hawkmoth | Papillon sphinx |
| *Tribolium castaneum* | Rust red flour beetle | Tribolium rouge de la farine |
| *Trichogramma* spp. | Egg parasitoid wasps (Hymenoptera) | Guêpes parasitoïdes des œufs (hyménoptère) |
| *Trigona* spp. | Australian stingless bees | Abeilles australiennes sans aiguillon |
| *Trinervitermes* spp. | Snouted termites | Termites à rostre |
| *Vespa* spp. | Wasps | Guêpes |
| *Vespula* spp. | Yellow jacket wasps | Guêpes jaunes |
| *Xyleutes leucomochla* (Syn. *Endoxyla leucomochla*) | Witchetty grub | Larves du witchetty (chenilles de cossidé) (witchetty = *Acacia kempeana* et *A. ligulata*) |
| *Xyleutes redtenbacheri* (Syn. *Comadia redtenbacheri*) | Red maguey worm | Ver rouge du maguey |
| *Zonocerus variegatus* | Variegated grasshopper | Criquet puant |
| *Zophobas morio* | Superworm | Ténébrion géant, ver de farine géant |

# Références

**Aarnink, A.J.A., Keen, A., Metz, J.H.M., Speelman, L. & Verstegen, M.W.A.** 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(2): 105–116.

**Acuña, A.M., Caso, L., Aliphat, M.M. & Vergara, C.H.** 2011. Edible insects as part of the traditional food system of the Popoloca town of Los Reyes Metzontla, Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 31(1): 150–169.

**Adamolekun, B.** 1993. *Anaphe venata* entomophagy and seasonal ataxic syndrome in southwest Nigeria. *Lancet*, 341(8845): 629.

**Adamolekun, B., McCandless, D.W. & Butterworth, R.F.** 1997. Epidemic of seasonal ataxia in Nigeria following ingestion of the African silkworm *Anaphe venata*: Role of thiamine deficiency? *Metabolic Brain Disease*, 12(4): 251–258.

**Ademolu, K.O., Idowu, A.B. & Olatunde, G.O.** 2010. Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development. *African Entomology*, 18(2): 360–364.

**Adriaens, E.L.** 1951. Recherches sur l'alimentation des populations au Kwango. *Bulletin Agricole du Congo Belge*, 42(2): 227–270.

**Agea, J.G., Biryomumaisho, D., Buyinza, M. & Nabanoga, G.N.** 2008. Commercialization of *Ruspolia nitidula* (Nsenene grasshoppers) in Central Uganda. *African Journal of Food Agriculture and Development*, 8(3): 319–332.

**Agriprotein.** 2010. Agriprotein. (disponible à www.agriprotein.com). Accédé octobre, 2012.

**Aguilar-Miranda, E.D., Lopez, M.G., Escamilla-Santana, C. & Barba de la Rosa, A.P.** 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1): 192–195.

**Akpalu, W., Muchapondwa, E. & Zikhali, P.** 2009. Can the restrictive harvest period policy conserve mopane worms in southern Africa? A bioeconomic modelling approach. *Environment and Development Economics*, 14(5): 587–600.

**Aldrich, J.** 1988. Chemical ecology of the Heteroptera. *Annual Reviews of Entomology*, 33: 211–238.

**Allotey, J. & Mpuchane, S.** 2003. Utilization of useful insects as food source. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 3(2): 1–6.

**Amadi, E.N., Ogbalu, O.K., Barimalaa, I.S. & Pius, M.** 2005. Microbiology and nutritional composition of an edible larva (*Bunaea alcinoe* Stoll) of the Niger Delta. *Journal of Food Safety*, 25: 193–197.

**Amar, Z.** 2003. The Eating of locusts in Jewish tradition after the Talmudic period. *The Torah u-Madda Journal*, 11: 186–202.

**Anand, H., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2008. Potential value of acridids as high protein supplement for poultry feed. *International Journal of Poultry Science*, 7(7): 722–725.

**Anderson, S. J.** 2000. Increasing calcium levels in cultured insects. *Zoo Biology*, 19(1): 1–9.

**Auerswald, L. & Lopata, A.** 2005. Insects: diversity and allergy. *Current Allergy & Clinical Immunology*, 18: 58–60.

**Austin, A.D., Yeates, D.K., Cassis, G., Fletcher, M.J., La Salle, J., Lawrence, J.F., McQuillan, P.B., Mound, L.A., Bickel, D.J., Gullan, P.J., Hales, D.F. & Taylor, G.S.** 2004. Insects "Down Under": diversity, endemism and evolution of the Australian insect fauna: examples from select orders. *Australian Journal of Entomology*, 43(3): 216–234.

**Awoniyi, T.A.M., Adetuyi, F.C. & Akinyosoye, F.A.** 2004. Microbiological investigation of maggot meal, stored for use as livestock feed component. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2(3&4): 104–106.

**Ayieko, M.A., Kinyuru, J.N., Ndong'a, M.F. & Kenji, G.M.** 2012. Nutritional value and consumption of black ants (*Carebara vidua* Smith) from the Lake Victoria region in Kenya. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(1): 39–45,

**Ayieko, M.A., Ndong'a, M.F.O. & Tamale, A.** 2010. Climate change and the abundance of edible insects in the Lake Victoria Region. *Journal of Cell and Animal Biology*, 4(7): 112–118.

**Ayieko, M.A., Obonyo, G.O., Odhiambo, J.A., Ogweno, P.L., Achacha, J. & Anyango, J.** 2011. Constructing and using a light trap harvester: rural technology for mass collection of agoro termites (*Macrotermes subhylanus*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(2), 105–109.

**Ayieko, M.A., Oriamo, V. & Nyambuga, I.A.** 2010. Processed products of termites and lake flies: improving entomophagy for food security within the Lake Victoria region. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(2): 2085–2098.

**Ayieko, M.A. & Oriaro, V.** 2008. Consumption, indigeneous knowledge and cultural values of the lakefly species within the Lake Victoria region. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2(10): 282–286.

**Bachstez, M. & Aragon, A.** 1945. Notes on Mexican drugs, plants, and foods. III. Ahuauhtli, the Mexican caviar. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 34: 170–172.

**BACSA.** 2011. *Sericulture for multi products: new prospects for development*. Proceedings of the 5th BACSA International Conference, 11–15 April 2011, Bucharest, Romania. (disponible à www.bacsa-silk.org/user_pic/file/PROCEEDINGS%20SERIPRODEV%202011.pdf).

**Bahuchet, S.** 1975. Ethnozoologie des Pygmées Babinga de la Lobaye, République Centrafricaine. *In* R. Pujol, ed. *Premier Colloque d'Ethnozologie*. pp. 53–61. Paris, Institut international d'Ethnoscience.

**Bahuchet, S. and Garine, L.D.** 1990. Recipes for a forest menu. *In* C.M. Hladik, S. Bahuchet & L.D. Garine, eds. *Food and Nutrition in the African Rain Forest*. pp. 53–54. Paris, UNESCO.

**Baines, N.** 2012. "Waiter, there's a fly in my soup": Insects as food are more than just a gastronomic gimmick. *The Independent*, édition en ligne 7 septembre 2012. (disponible à www.independent.co.uk/life-style/food-and-drink/features/waiter-theres-a-fly-in-my-soup-insects-as-food-are-more-than-just-a-gastronomic-gimmick-8113939.html).

**Balasubramanian, A.** 1984. *Environmental economics – meaning, definition and importance: towards a philosophy of environmental education*. Singapour, Regional Institute of Higher Education and Development.

**Banjo, A.D., Lawal, O.A. & Adeyemi, A.I.** 2006. The microbial fauna associated with the larvae of *Oryctes monocerus*. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(11): 837–843.

**Banjo, A.D., Lawal, O.A. & Songonuga, E.A.** 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5(3): 298–301.

**Barker, G.** 2009. *The agricultural revolution in prehistory: why did foragers become farmers?* New York, États-Unis, Oxford University Press.

**Barletta, B. & Pini, C.** 2003. Does occupational exposure to insects lead to species-specific sensitization? *Allergy*, 58: 868–870.

**Barreteau, D.** 1999. Les Mofu-Gudur et leurs criquets. *In* C. Baroin & J. Boutrais, eds. *L'homme et l'animal dans le bassin du lac Tchad: actes du colloque du réseau Méga-Tchad*. pp. 133–169. Paris, Institut de recherche pour le développement, Université Nanterre.

**BBC.** 2004. Locusts rebranded as 'sky prawns'. (disponible à http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/4032143.stm). Accédé avril 2012.

**Behmer, S.T.** 2006. Insect dietary needs: plants as food for insects. *Encyclopedia of Plant and Crop Science*. Royaume-Uni, Taylor & Francis.

**Bennett, F. J.** 1965. An inventory of the Kiganda foods. *The Uganda Journal*, 29(1): 45–53.

**Bequaert, J.** 1921. Insects as food. How they have augmented the food supply of mankind in early and recent years. *Natural History Journal,* 21: 191–200.

**Bergier, E.** 1941. *Peuples entomophages et insectes comestibles: étude sur les moeurs de l'homme et de l'insecte*. Avignon, Imprimerie Rullière Frères.

**Bodenheimer, F.S.** 1951. *Insects as human food; a chapter of the ecology of man*. La Haie, Dr. W. Junk Publishers.

**Bornemissza, G.F.** 1976. The Australian Dung Beetle Project 1965–1975. *Australian Meat Research Committee Review*, 30: 1–30.

**Boulidam, S.** 2010. Edible insects in Lao market economy. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 131–140. Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Bouvier, G.** 1945. Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale. *Acta Trop*, 2: 42–59.

**Bourne, G.H.** 1953. The Food of the Australian Aboriginal. *Proceedings of the Nutrition Society*, 12: 58–65.

**Bradbear, N.** 2009. *Bees and their role in forest livelihoods: a guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products*. Non-Wood Forest Products Series 19. Rome, FAO.

**Brambell, F.W.** 1965. Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems. Londres, Her Majesty's Stationary Office (disponible à www.nhk.nl/downloads/1965_rapport_commissie_brambell.pdf).

**Brinchmann, B.C., Bayat, M., Brøgger, T., Muttuvelu, D.V., Tjønneland, A. & Sigsgaard, T.** 2011. A possible role of chitin in the pathogenesis of asthma and allergy. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 18: 7–12.

**Bukkens, S.G.F.** 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 287–319.

**Bukkens, S.G.F.** 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 545–577. New Hampshire, Science Publishers.

**Burrows, C.** 2012. Update regarding cochineal extract. *Starbucks Blog*, 29 mars 2012. (disponible à http://blogs.starbucks.com/blogs/customer/archive/2012/03/29/update-regarding-cochineal-extract.aspx).

**Campbell, M.** 2011. Bug Appétit: San Francisco's Pre-Hispanic Snackeria. *The World*, 2 novembre 2011. (disponible à www.theworld.org/2011/11/edible-bugs-food/).

**Cerda, H., Martinez, R., Briceno, N., Pizzoferrato, L., Manzi, P., Tommaseo Ponzetta, M., Marin, O. & Paoletti, M.G.** 2001. Palm worm (*Rhynchophorus palmarum*): traditional food in Amazonas, Venezuela. Nutritional composition, small scale production and tourist palatability. *Ecology of Food and Nutrition*, 40(1): 13–32.

**Cerritos, R.** 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(27): 1–10.

**Cerritos, R. & Cano-Santana, Z.** 2008. Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: A comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Protection*, 27(3-5): 473–480.

**Césard, N.** 2004a. Le kroto (*Oecophylla smaragdina*) dans la région de Malingping, Java-Ouest, Indonésie: collecte et commercialisation d'une ressource animale non

négligeable. *Anthropozoologica*, 39(2): 15–31.

**Césard, N.** 2004b. Harvesting and commercialisation of kroto (*Oecophylla smaragdina*) in the Malingping area, West Java, Indonesia. *In* K. Kusters & B. Belcher, eds. *Forest products, livelihoods and conservation: case studies of non-timber forest product systems. Volume 1, Asia*. pp. 61–78. Jakarta, Indonesia, CIFOR.

**Chadwick, I.** 2011. Mescal's history. (disponible à www.ianchadwick.com/tequila/mezcal_history.htm). Accédé Feburary 2013.

**Chagnon, N.A.** 1983. *Yanomamo: The fierce people*. New York, CBS College Publishing.

**Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y.** 2003. *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. Value of Water Research Report Series No. 13. Paris, UNESCO.

**Chavanduka, D.M.** 1976. Insects as a source of protein to the Africain. *The Rhodesia Science News*, 9(7): 217–220.

**Chen, P.P., Wongsiri, S., Jamyanya, T., Rinderer, T.E., Vongsamanode, S., Matsuka, M., Sylvester, H.A. & Oldroyd, B.P.** 1998. Honey bees and other edible insects used as human food in Thailand. *American Entomologist*, 44(1): 24–28.

**Chen, X., Feng, Y. & Chen, Z.** 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5): 299–303.

**Chen, Y.I. & Akre, R.D.** 1994. Ants used as food and medicine in China. *The Food Insects Newsletter*, No. 7(2): 8.

**Cherry, R.** 1991. Use of insects by Australian aborigines. *American Entomologist*, 32: 8–13.

**Chidumayo, E.N. & Mbata, K.J.** 2002. Shifting cultivation, edible caterpillars and livelihoods in the Kopa area of northern Zambia. *Forests, Trees and Livelihoods*, 12: 175–193.

**Choo, J.** 2008. Potential ecological implications of human entomophagy by subsistence groups of the Neotropics. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 1: 81–93.

**Choo, J., Zent, E.L. & Simpson, B.B.** 2009. The importance of traditional ecological knowledge for palm-weevil cultivation in the Venezuelan Amazon. *Journal of Ethnobiology*, 29(1): 113–128.

**Chung, A.Y.C.** 2010. Edible insects and entomophagy in Borneo. Edible insects in Lao market economy. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 131–140. Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Cohen, A.C.** 2001. Formalizing Insect rearing and artificial diet technology. *American Entomologist*, 47(4): 199.

**Cohen, J.H., Sánchez, N.D.M. & Montiel-ishinoet, F.D.** 2009. Chapulines and food choices in rural Oaxaca. *Gastronomica: the Journal of Food and Culture*, 9(1): 61–65.

**Coletto-Silva, A.** 2005. Captura de enxames de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) sem destruição de árvores. *Acta Amazonica*, 35(3): 383-388.

**Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R. & Paoletti, M.G.** 2005. House cricket small-scale farming. *In* M.G. Paoletti, ed., *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. pp. 519–544. New Hampshire, Science Publishers.

**Costa-Neto, E.M.** 2003. Entertainment with insects: singing and fighting insects around the world. a brief review. *Etnobiología*, 3: 21–29.

**Costa-Neto, E.M.** 2012. Estudos etnoentomológicos no estado da Bahia, Brasil: uma homenagem aos 50 anos do campo de pesquisa. *Biotemas*, 17(1): 117–149.

**Costermans, J.B.** 1955. Het termieten-stoken bij de Logo-Avokaya (vervolg). *Aequatoria*, 18(2): 50–55.

**Crook R.J. & Walters, E.T.** 2011. Nociceptive behavior and physiology of mollusks: animal welfare implications. *ILAR J*, 52: 185–195.

**Cutter, C.N.** 2006. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science*, 74(1): 131–142.

**Das, M., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2009. Space requirement for mass rearing of two common Indian acridid adults (Orthoptera: Acrididae) in laboratory condition. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.,* 6(3): 313–316.

**Das, M., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2010. Nutrient analysis of grasshopper manure for soil fertility enhancement. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 7(6): 671–675.

**Davey, G.C.L.** 1994. The "disgusting" spider: The role of disease and illness in the perpetuation of fear of spiders. *Society and Animals*, (2): 1.

**Davis, G.R.F. & Sosulski, F.W.** 1974. Nutritional quality of oilseed protein isolates as determined with larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. *The Journal of Nutrition*, 104(9): 1172–1177.

**Decary, R.** 1937. L'entomophagie chez les indigènes de Madagascar. *Bulletin de la Société entomologique de France* (9 juin 1937), pp. 168–171.

**DeFoliart, G.R.** 1989. The human use of insects as food and as animal feed. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 35: 22–35.

**DeFoliart, G.R.** 1995. Edible insects as minilivestock. *Biodiversity and Conservation*, 4(3): 306–321.

**DeFoliart, G.R.** 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4): 109–132.

**DeFoliart, G.R.** 1999. Insects as food: Why the western attitude is important. *Annual Review of Entomology*, 44: 21–50.

**DeFoliart, G.R.** 2002. *The human use of insects as food resource: a bibliographic account in progress*. Wisconsin, États-Unis, Department of Entomology, University of Wisconsin-Madison. (also availabe at: www.food-insects.com/book7_31/The%20Human%20Use%20of%20Insects%20as%20a%20Food%20Resource.htm).

**DeFoliart, G.R.** 2005. An overview of role of edible insects in preserving biodiversity. *In* M.G. Paoletti, ed., *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. pp. 123–140. New Hampshire, USA, Science Publishers.

**DeFoliart, G., Dunkel, F.V. & Gracer, D.** 2009. *The Food Insects Newsletter.* Salt Lake City, Utah, USA. Aardvark Global Publishing.

**Del Toro, I., Ribbons, R.R. & Pelini, S.L.** 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 17: 133–146.

**Delong, D.M.** 1960. Man in a world of insects. *The Ohio Journal of Science*, 60(4): 193–206.

**Diamond, J.** 2005. *Guns, germs and steel: a short history of everybody for the last 13 000 years*. UK, Vintage.

**Dufour, D.L.** 1987. Insects as food: a case study from the northwest Amazon. *American Anthropologist*, 89(2): 383.

**Durst, P.B. & Shono, K.** 2010. Edible forest insects: exploring new horizons and traditional practices. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 1–4. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Dyson-Hudson, R. & Smith, E.A.** 1978. Human territoriality: an ecological reassessment. *American Anthropologist*, 80(1): 21–41.

**Dzerefos, C.M., Witkowski, E.T.F. & Toms, R.** 2009. Life-history traits of the edible stinkbug, *Encosternum delegorguei* (Hem., Tessaratomidae), a traditional food in southern Africa. *J. Appl. Entomol.*, 133: 749–759.

**Egert, M., Wagner, B., Lemke, T., Brune, A. & Friedrich, M.W.** 2003. Microbial community structure in midgut and hindgut of the humus-feeding larva of *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Applied and Environmental Microbiology*, 69(11): 6659–6668.

**Eisemann, C.H., Jorgensen W.K., Merritt, D.J, Rice, M.J., Cribb, B.W, Webb, P.D. & Zalucki, M.P.** 1984. Do insects feel pain? A biological view. *Experientia*, 40: 164–167.

**Ekoue, S.K. & Hadzi, Y.A.** 2000. Production d'asticots comme source de protéines pour jeunes volailles au Togo: observations préliminaires. *Tropicultura*, 18(4): 212–214.

**El-Mallakh, O.S. & El-Mallakh, R.S.** 1994. Insects of the Qur'an (Koran). *American Entomologist*, 40: 82–84.

**Elvin, C.M., Carr, A.G., Huson, M.G., Maxwell, J.M., Pearson, R.D., Vuocolo, T., Liyou, N.E., Wong, D.C.C., Meritt, D.J. & Dixon, N.E.** 2005. Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin. *Nature*, 437: 999–1002.

**Ento.** 2012. disponible à http://cargocollective.com/ento/. Accédé septembre 2012.

**Erens, J., Es van, S., Haverkort, F., Kapsomenou, E. & Luijben, A.** 2012. *A bug's life: large-scale insect rearing in relation to animal welfare: Project 1052*. Wageningen, Wageningen University.

**Erickson, M.C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M.P.** 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Prot.*, 67(4): 685–690.

**Ernst, W.H.O. & Sekhwela, M.B.M.** 1987. The chemical composition of lerps from the mopane psyllid *Arytaina mopane* (Homoptera, Psyllidae). *Insect Biochem.*, 17(6): 905–909.

**European Commission.** 1997. *Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel foods and novel food ingredients*. Brussels.

**European Comission.** 2008. Ecodoptera Project (disponible à http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.createPage&s_ref=LIFE05%20ENV/E/000302&area=2&yr=2005&n_proj_id=2897&cfid=16586&cftoken=2e4adf8baa61f2ac-360A2F1D-DAE5-7FE0-A7720CC7129F3210&mode=print&menu=false).

**Fairman, R.J.** 2010. Instigating an education in insects: the eating creepy crawlies' exhibition. *Antenna*, 34: 169–170.

**FAO.** 1997a. *Guidelines for small-scale fruit and vegetable processors*. FAO Agricultural Services Bulletin 127. Rome.

**FAO.** 1997b. *Rural aquaculture: overview and framework for country reviews*. Rome.

**FAO.** 2003. *State of forest and tree genetic resources in dry zone Southern Africa Development Community countries*. Rome.

**FAO.** 2004. *Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire: L'exemple des chenilles d'Afrique centrale*. NTFP Working document No. 1. Rome. (disponible à www.fao.org/docrep/007/j3463f/j3463f3400.htm).

**FAO.** 2007. *Promises and challenges of the informal food sector in developing countries*. Rome.

**FAO.** 2009a. How to feed the world in 2050. Paper presented at the High Level Expert Forum, Rome, Italie, 12–13 October. (disponible à www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).

**FAO.** 2009b. *Biodiversity and nutrition, a common path*. Rome.

**FAO.** 2010a. *Development of regional standard for edible crickets and their products*. Paper presented at the Joint FAO/WHO meeting Food Standards Programme: FAO/WHO Coordinating Committee for Asia, Bali, Indonesie.

**FAO.** 2010b. *Biodiversity and sustainable diets: united against hunger*. Report presented at World Food Day/World Feed Week, 2–5 November, 2010, Rome.

**FAO.** 2010c. *Expert consultation on nutrition indicators for biodiversity: Volume 2*. Rome.

FAO. 2011a. *Selling street and snack foods*. Rome.

**FAO.** 2011b. *Small farm for small animals*. Rome.

**FAO.** 2011c. *State of food and agriculture 2010-2011. Women in agriculture: closing the gender gap for development*. Rome.

**FAO.** 2012a. *State of the world's forests 2012*. Rome
**FAO.** 2012b. *State of the world fisheries*. Rome.
**FAO.** 2012c. Water & poverty, an issue of life & livelihoods. (disponible à www.fao.org/nr/water/issues/scarcity.html). Accédé novembre 2012.
**FAO.** 2012d. FAO at Rio +20. (disponible à www.fao.org/rioplus20/en/). Accédé janvier 2013.
**FAO.** 2012e. Gender and nutrition. (disponible à www.fao.org/docrep/012/al184e/al184e00.pdf). Accédé novembre 2012.
**FAO.** 2012f. Composition database for Biodiversity Version 2, BioFoodComp2. (Latest update: 10 January 2013). Accédé janvier 2012. (disponible à www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/en/).
**FAO/IAEA.** 2001. *Manual on the application of the HACCP system in Mycotoxin prevention and control*. FAO Food and Nutrition paper, No. 73. Rome, FAO/IAEA Training and Reference Centre for Food and Pesticide Control.
**FAO/WHO.** 2001a. *Codex Alimentarius: Joint FAO/WHO Food Standards Programme*. Rome. (disponible à www.codexalimentarius.org/).
**FAO/WHO.** 2001b. *Human vitamin and mineral requirements*. Rome.
**FAO/WUR.** 2012. *Expert consultation meeting: assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security*. P. Vantomme, E. Mertens, A. van Huis & H. Klunder, eds. Summary report, 23–25 January 2012, Rome.
**Farina, L. , Demey, F. & Hardouin, J.** 1991. Production de termites pour l'aviculture villageoise au Togo. *Tropicultura*, 9(4): 181–187.
**Fasoranti, J.O. & Ajiboye, D.O.** 1993. Some edible insects of Kwara State, Nigeria. *American Entomologist*, 39(2): 113–116.
**Faure, J.C.** 1944. Pentatomid bugs as human food. *Journal Ent. Soc. S. Africa*, 7: 110–112.
**FDA.** 2011. **Defect levels handbook.** (disponible à www.fda.gov/food/guidancecompliance regulatoryinformation/guidancedocuments/sanitation/ucm056174.htm). Accédé janvier 2013.
**Feng, Y. & Chen, X.** 2003. Utilization and perspective of edible insects in China. *Forest Science and Technology*, 44(4): 19–20.
**Feng, Y. & Chen, X.** 2009. Reviews on the research and utilization of insect health care foods. *Journal of Shandong Agrcultural University (Natural science)*, 40(4): 676–680.
**Feng, Y., Zhao, M., He, Z., Chen, Z. & Sun, L.** 2009. Research and utilization of medicinal insects in China. *Entomological Research*, 39(5): 313–316.
**Fessler, D.M.T. & Navarette, C.D.** 2003. Meat is good to taboo: Dietary proscriptions as a product of the interaction of psychological mechanisms and social processes. *Journal of Cognition and Culture*, 3(1): 1–40.
**Fiala, N.** 2008. Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. *Ecological Economics*, 67: 412–419.
**Finke, M.D.** 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3): 269–285.
**Finke, M.D.** 2005. Nutrient composition of bee brood and its potential as human food. *Ecology of Food and Nutrition*, 44(4): 257–270.
**Finke, M.D.** 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26: 105–115.
**Flood, J.** 1980. *The moth hunters: Aboriginal prehistory of the Australian Alps*. Canberra, Humanities Press, Inc.
**Friedland, S.R.** 2007. *Food and morality: proceedings of the Oxford Symposium on Food and Cookery*. Prospect Books.
**Gaston, K.J. & Chown, S.L.** 1999. Elevation and climatic tolerance: a test using dung beetles. *Oikos*, 86: 584–590.
**Ghazoul, J.** 2006. *Mopani woodlands and the mopane worm: enhancing rural livelihoods and resource sustainability. Final technical report*. Londres, DFID.

**Ghesquière, J.** 1947. Les insectes palmicoles comestibles. P. Lepesme, ed. *Les insectes des palmiers*, pp. 791–793. Paris, P. Lechevalier.

**Giaccone, V.** 2005. Hygiene and health features of "minilivestock". *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 579–598. New Hampshire, Science Publishers.

**Giblin-Davis, R.M., Gerber, K., & Griffith, R.** 1989. Laboratory rearing of the red palm weevil, *Rhynchophorus cruentatus* and *R. palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, 72(3): 480–488.

**Gitta, A.** 2012. Power cuts harm Uganda's grasshopper business. *Deutsche Welle*, édition en ligne. 3 January 2012. (disponible à www.dw.de/power-cuts-harm-ugandas-grasshopper-business/a-15634688-1).

**Glew, R.H., Jackson, D., Sena, L., VanderJagt, D.J., Pastuszyn, A., & Millson, M.** 1999. *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae), a nutritional food source rich in protein, fatty acids and minerals. *American Entomologist* (hiver 1999), 45(4): 250–253.

**Godfray, H.C.J.** 1994. *Parasitoids: behavioural and evolutionary ecology*. Princeton, USA, Princeton University Press.

**Gomez, P.A., Halut, R. & Collin, A.** 1961. Production de protéines animales au Congo. *Bulletin Agricole du Congo*, 52(4): 689–786.

**Gon, S.M., & Price, E.O.** 1984. Invertebrate domestication: behavioral considerations. *BioScience*, 34(9): 575–579.

**Goodman, W.G.** 1989. Chitin: A magic bullet? *The Food Insects Newsletter*, 2(3): 1, 6–7.

**Gottschling, S. & Meyer, S.** 2006. An edpidemic airborne disease cause by the oak processionary caterpillar. *Pediatric Dermatology*, 23(1): 64–66.

**Gounari, S.** 2006. Studies on the phenology of *Marchalina hellenica* (gen.) (Hemiptera: Coccoidea, Margarodidae) in relation to honeydew flow. *Journal of apicultural research*, 45(1): 8–12.

**Government of India.** 2011. *Central Silk Board annual report 2010–2011*. Ministry of Textiles.

**Green, K., Broome, L., Heinze, D. & Johnston, S.** 2001. Long distance transport of arsenic by migrating bogong moths from agricultural lowlands to mountain ecosystems. *The Victorian Naturalist*, 118(4): 112–116.

**Groot, A.** 1995. *La protection des végétaux dans les cultures de subsistance: le cas du mil au Niger de l' Ouest*. Wageningen, Pays-Bas, Wageningen University.

**Guénard, B., Weiser, M. & McCoy, N.** 2010. *Ant genera of the world: Oecophylla*. (disponible à www.antmacroecology.org). Accédé avril 2012.

**Guerin-Meneville, M.F.E.** 1857. Entomologie appliquée. Mémoire sur trois espèces d'insectes hémiptères du groupe des punaises aquatiques, dont les œufs servent à faire une sorte de pain nommé hautle, au Mexique. *Bulletin Société Impériale Zoologique d'Acclimatation*, 4: 578–581.

**Hackstein, J.H. & Stumm, C.K.** 1994. Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(12): 5441–5445.

**Hale, O.M.** 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 8: 16–20.

**Haldar, P.** 2012. *Evaluation of nutritional value of short-horn grasshoppers (acridids) and their farm-based mass production as a possible alternative protein source for human and livestock*. Paper presented at the Expert Consultation Meeting on Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security, 23–26 janvier, Rome, FAO.

**Hanboonsong, Y.** 2010. Edible insects and associated food habits in Thailand. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 171–182. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Hanboonsong, Y.** 2012. *Edible insect recipes: edible insects for better nutrition and improved food security*. Vientiane, FAO et le Gouvernement de la République démocratique populaire lao.

**Handley, M.A.** 2007. Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *American Journal of Public Health*, 97(5): 900–906.

**HaoCheng Mealworm, Inc.** 2012. About HaoCheng Mealworm Inc. (disponible à www.hcmealworm.com). Accédé novembre 2012.

**Hardouin, J.** 1995. Minilivestock: from gathering to controlled production. *Biodiversity and Conservation*, 4(3): 220–232.

**Harpe, D. & McCormack, D.** 2001. Online Etymological Dictionary. (disponible à www.LogoBee.com). Accédé 1 novembre 2012.

**Harris, W. V.** 1940. Some notes on insects as food. *Tanganyika Notes and Records*, 9: 45–48.

**Harrison, S.G.** 1950. Manna and its sources. *Kew Bulletin*, 5(3): 407–417.

**Headings, M.E. & Rahnema, S.** 2002. The nutritional value of mopane worms, *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae) for human consumption. Presentation at the Ten-Minute Papers: Section B. Physiology, Biochemistry, Toxicology and Molecular Biology Series, 20 November 2002. Ohio, USA, Ohio State University.

**Health Canada.** 2006. Food additives permitted for use in Canada. (disponible à www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/addit/diction/dict_food-alim_add-eng.php). Accédé novembre 2012.

**Heinrichs, E.A. & Mochida, O.** 1984. From secondary to major pest status: the case of insecticide-induced rice brown planthopper *Nilaparvata lugens*, resurgence. *Protection Ecology*, 7(2-3): 201–218.

**Heinz, G. & Hautzinger, P.** 2007. *Meat processing technology for small- to medium-scale producers*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. (disponible à www.fao.org/docrep/010/ai407e/ai407e00.htm).

**Herz, R.** 2012. *That's disgusting: unraveling the mysteries of repulsion*. New York, USA, W.W. Norton & Co.

**Hobane, P.A.** 1994. The urban marketing of the mopane worm: the case of Harare. *CASS – NRM Occasional Paper Series*. Harare, Zimbabwe, Centre for Applied Social Sciences, University of Zimbabwe.

**Hogue, C.L.** 1987. Cultural entomology [Review]. *Annual Review of Entomology*, 32: 181–199.

**Holden, S.** 1991. Edible caterpillars: a potential agroforestry resource? They are appreciated by local people, neglected by scientists. *The Food Insects Newsletter*, 4(2): 3–4. USA.

**Hölldobler, B.** 1983. Territorial behaviour in the green tree ant *Oecophylla smaragdina*. *Biotropica*, 15(4): 241–250.

**Hölldobler, B. & Wilson, E.O.** 2010. *The leafcutter ants: civilization by instinct*. New York, États-Unis, W. W. Norton & Company.

**Holt, V.M.** 1995. *Why not eat insects?* Oxford, UK, Thornton's.

**Hope, R.A., Frost, P.G.H., Gardiner, A. & Ghazoul, J.** 2009. Experimental analysis of adoption of domestic mopane worm farming technology in Zimbabwe. *Development Southern Africa*, 26: 29–46.

**Hou, L., Shi, Y., Zhai, P., & Le, G.** 2007. Inhibition of foodborne pathogens by Hf-1, a novel antibacterial peptide from the larvae of the housefly (*Musca domestica*) in medium and orange juice. *Food Control*, 18(11): 1350–1357.

**Howard, R.W. & Stanley-Samuelson, D.W.** 1990. Phospholipid fatty acid composition and arachidonic acid metabolism in selected tissues of adult *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 83(5): 975–981.

**Hrabar, H., Hattas, D. & Toit, J.T.** 2009. Differential effects of defoliation by mopane caterpillars and pruning by African elephants on the regrowth of *Colophospermum mopane* foliage. *Journal of Tropical Ecology*, 25: 301–309.

**Hu, E.Z., Bartsev, S.I. & Liu, H.** 2010. Conceptual design of a bioregenerative life support system containing crops and silkworms. *Advances in Space Research*, 45(7): 929–939.

**Hwangbo, J., Hong, E.C., Jang, A., Kang, H.K., Oh, J.S., Kim, B.W. & Park, B.S.** 2009. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *J. Environ Biol.*, 30(4): 609–614.

**IFIF.** 2012. International Feed Industry Federation. (disponible à www.ifif.org). Accédé mai 2012.

**Ijaiya, A.T. & Eko, E.O.** 2009. Effect of replacing dietary fish meal with silkworm (*Anaphe infracta*) caterpillar meal on performance, carcass characteristics and haematological parameters of finishing broiler chicken. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(6): 850–855.

**Illgner, P. & Nel, E.** 2000. The geography of edible insects in sub-Saharan Africa: a study of the mopane caterpillar. *Geographical Journal*, 166: 336–351.

**Ingram, M., Nabhan, G.P. & Buchmann, S. L.** 1996. Our forgotten pollinators: protecting the brids and bees. *Global Pesticide Campaigner*, 6(4): 1–12.

**Institute of Food Technologists.** 2011. Developing solutions for developing countries. (disponible à www.ift.org/community/students/competitions/developing-solutions-for-developing-countries.aspx). Accédé décembre 2012.

**IPCC.** 2007. Summary for policymakers. *In* S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor & H.L. Miller, eds. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Royaume-Uni & New York, États-Unis, Cambridge University Press.

**Iroko, A.F.** 1982. Le rôle des termitières dans l'histoire des peuples de la République populaire du Bénin des origines à nos jours. *Bulletin de l'I.F.A.N*, 44: 50–75.

**ISC.** 2011. *22nd Congress of the International Sericultural Commision*. Bangalore, India. (disponible à www.qsds.go.th/isccongress/files/Proceeding.pdf).

**Janzen, D.H. & Schoener, T.W.** 1968. Differences in insect abundance and diversity between wetter and drier sites during tropical dry season. *Ecology*, 49: 96–110.

**Jensen, R. L., Newsom, L.D., Herzog, D.C., Thomas, J.W., Farthing, B.R. & Martin, F.A.** 1977. A method of estimating insect defoliation of soybean. *Journal of Economic Entomology*, 70(2): 240–242.

**Jin, X.B. & Yen, A.L.** 1998. Conservation and the cricket culture in China. *Journal of Insect Conservation*, 2: 211–216.

**Johnson, D.V.** 2010. The contribution of edible forest insects to human nutrition and to forest management. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on resources and their potential for development*, pp. 5–22. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Johnson, N. & Berdegué, J.** 2004. Property rights, collective action and agribusiness. *2020 Focus*, 11: 13.

**Jongema, Y.** 2012. List of edible insect species of the world. Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University. (disponible à www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/).

**Kampmeier, G.E. & Irwin, M.E.** 2003. Commercialization of insects and their products. *In* V.H. Resh & R.T. Cardé, eds. *Encyclopedia of insects*, pp. 252–260. Burlington, USA, Academic Press.

**Katayama, N., Ishikawa, Y., Takaoki, M., Yamashita, M., Nakayama, S., Kiguchi, K., Kok, R., Wada, H. & Mitsuhashi, J.** 2008. Entomophagy: a key to space agriculture. *Advances in Space Research*, 41(5): 701–705.

**Katayama, N., Yamashita, M., Wada, H. & Mitsuhashi, J.** 2005. Entomophagy as part of a space diet for habitation on Mars. *J. Space Tech. Sci.*, 21(2): 27–38.

**Kellert, S.R.** 1993. Values and perceptions of invertebrates. *Conservation Biology*, 7(4): 845–855.

**Kenis, M., Sileshi, G., Mbata, K., Chidumayo, E., Meke, G. & Muatinte, B.** 2006. Towards conservation and sustainable utilization of edible caterpillars of the miombo. Presentation to the SIL Annual Conference on Trees for Poverty Alleviation, 9 June 2006, Zürich, Suisse.

**Kinyuru, J.N., Kenji, G.M. & Muhoho, S.N.** 2010. Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 12(1): 1–24.

**Kinyuru, J.N., Kenji, G.M. & Njoroge, M.S.** 2009. Process development, nutrition and sensory qualities of wheat buns enriched with edible termites (*Macrotermes subhyalinus*) from Lake Victoria region, Kenya. *African Journal of Food and Agriculture Nutrition and Development*, 9(8): 1739–1750.

**Kirkpatrick, T.W.** 1957. *Insect life in the tropics*. London, Longmans, Green.

**Kitsa, K.** 1989. Contribution des insectes comestibles a l'amélioration de la ration alimentaire au Kasai-Occidental. *Zaire-Afrique*, 239: 511–519.

**Klunder, H.C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M. & Nout, M.J.R.** 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26: 628–631.

**Kogan, M.** 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 243–270.

**Kok, R.** 1983. The production of insects for human food. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 16(1): 5–18.

**Kok, R., Shivhare, U.S. & Lomaliza, K.J.** 1990. Mass and component balances for insect production. *Canadian Agricultural Engineering*, 33(1): 185–192.

**Kozanayi, W. & Frost, P.** 2002. *Marketing of mopane worm in Southern Zimbabwe*. Harare, Institute of Environmental Studies.

**Krishnan, R., Sherin, L., Muthuswami, M., Balagopal, R. & Jayanthi, C.** 2011. Seri waste as feed substitute for broiler production. *Sericologia*, 51(3): 369–377.

**Kuhnlein, H.V., Erasmus, B. & Spigelski, D.** 2009. *Indigenous peoples' food systems: the many dimensions of culture, diversity and environment for nutrition and health*. FAO & Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment, Rome.

**Kuyten, P.** 1960. Darmafsluiting veroorzaakt door het eten van kevers. *Entomologische berichten*, 20(8): 143.

**Lähteenmäki-Uutela, A.** 2007. European novel food legislation as a restriction to trade. Paper presented at the seminar Pro-poor Development in Low-income Countries, 25–27 October, Montpellier, France. (disponible à http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/7909/1/pp07la01.pdf).

**Latham, P.** 1999. Edible caterpillars of the Bas Congo region of the Democratic Republic of Congo. *Antenna*, 23(3): 135–139.

**Latham, P.** 2003. *Edible caterpillars and their food plants in Bas-Congo*. Canterbury, Mystole Publications.

**Lee, K.P., Simpson, S. J. & Wilson, K.** 2008. Dietary protein-quality influences melanization and immune function in an insect. *Functional Ecology*, 22(6): 1052–1061.

**Leung, W.** 2012. Crushed bugs give Starbucks Frappucino its pretty pink colour. *The Globe and Mail*, online edition, posted on 28 March 2012 (disponible à www.theglobeandmail.com/life/the-hot-button/crushed-bugs-give-starbucks-frappucino-its-pretty-pink-colour/article621424/).

**Lewis, V.L.** 1992. Spider silk: the unraveling of a mystery. *Acc. Chem. Res.*, 25: 392–398.

**Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z. & Zhou, S.** 2011. From organic waste to biodiesel: black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 90: 1545–1548.

**Lindqvist, L. & Block, M.** 1995. Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera; Tenebrionidae). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 111(2): 325–328.

**Liu, Q., Tomberlin, J.K., Brady, J.A., Sanford, M.R. & Yu, Z.** 2008. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environ. Entomol.*, 37(6): 1525–1530.

**Lockwood, J.A.** 2004. *Locust: the devastating rise and disappearance of the insect that shaped the American frontier*. New York, États-Unis, Basic Books.

**Lokkers, C.** 1990. *Colony dynamics of the green tree ant (*Oecophylla smaragdina *Fab.) in a seasonal tropical climate*. Rockhampton, Australia, James Cook University of North Queensland.

**Looy, H. & Wood, J.R.** 2006. Attitudes toward invertebrates: are educational "bug banquets" effective? *The Journal of Environmental Education*, 37(2): 37–48.

**Losey, J.E. & Vaughan, M.** 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56(4): 311–323.

**Madsen, D.B. & Kirkman, J.E.** 1988. Hunting hoppers. *American Antiquity*, 53(3): 593–604.

**Makuku, S.J.** 1993. All this for a bug! Community approaches to common property resources management: the case of the Norumedzo community in Bikita, Zimbabwe. *Forests, Trees and People Newsletter*, 22.

**Malaisse, F.** 1997. *Se nourrir en forêt claire africaine: approche écologique et nutritionnelle*. Gembloux, Les Presses Agronomiques de Gembloux.

**Mariod, A., Klupsch, S., Hussein, I.H. & Ondruschka, B.** 2006. Synthesis of alkyl esters from three unconventional sudanese oils for their use as biodiesel. *Energy & Fuels*, 20: 2249–2252.

**Mariod, A., Matthäus, B. & Eichner, K.** 2004. Fatty acid, tocopherol and sterol composition as well as oxidative stability of three unusual sudanese oils. *Journal of Food Lipids*, 11: 179–189.

**Mariod, A., Matthäus, B., Eichner, K. & Hussein, I.H.** 2005. Improving the oxidative stability of sunflower oil by blending with *Sclerocarya birrea* and *Aspongopus viduatus* oils. *Journal of Food Lipids*, 12: 150–158.

**Mbata, K.J. & Chidumayo, E.N.** 2003. Traditional values of caterpillars (Insecta: Lepidoptera) among the Bisa people of Zambia. *Insect Sci. Applic.*, 23(4): 341–354.

**Mbata, K.J., Chidumayo, E.N. & Lwatula, C.M.** 2002. Traditional regulation of edible caterpillar exploitation in the Kopa area of Mpika district in northern Zambia. *Journal of Insect Conservation*, 6(2): 115–130.

**McCrae, A.W.R.** 1982. Characteristics of swarming in the African edible bush-cricket *Ruspolia differens* (Serville) (Orthoptera, Tettigonioidea). *Journal of the East Africa Natural History Society and National Museum*, 178: 1–5.

**Mela, D.J.** 1999. Food choice and intake: the human factor. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58: 513–521.

**Menzel, C.** 2002. *The lychee crop in the Asia and the Pacific*. FAO/RAP Publication 16. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

**Mercer, C.W.L.** 1994. Sago grub production in Lubu swamp near Lae-Papua New Guinea. *Klinkii*, 5(2): 30–34.

**Mercer, C.W.L.** 1997. Sustainable production of insects foe food and income by New Guinea villagers. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4): 151–157.

**Meslin, F.X. & Formenty, P.** 2004. A review of emerging zoonoses and the public health implications. Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation on emerging zoonotic diseases, 3–5 May 2004, Genève.

**Meuwissen, P.** 2011. *Insecten als nieuwe eiwitbron: Een scenarioverkenning van de marktkansen*. 's-Hertogenbosch: ZLTO projecten.

**Meyer-Rochow, V.B.** 1979. The diverse uses of insects in traditional societies. *Ethnomedicine*, 5(3/4): 287–300.

**Meyer-Rochow, V.B.** 2005. Traditional food insects and spiders in several ethnic groups of northeast India, Papua New Guinea, Australia and New Zealand. *In* M.G. Paoletti, ed.

*Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 385–409. New Hampshire, États-Unis, Science Publishers.
**Michaelsen, K.F., Hoppe, C., Roos, N., Kaestel, P., Stougaard, M., Lauritzen, L. & Mølgaard, C.** 2009. Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age. *Food and Nutrition Bulletin*, 30(3): 343–404.
**Mignon, J.** 2002. L'entomophagie: une question de culture? *Tropicultura*, 20(3): 151–155.
**Milton, K.** 1984. Protein and carbohydrate resources of the Maku Indians of northwestern Amazonia. *American Anthropologist*, 86(1): 7–27.
**Mitsuhashi, J.** 2005. Edible insects in Japan. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 251–262. New Hampshire, États-Unis, Science Publishers.
**Mormino, V.** 2009. Evil weevils attack Sicily! *Best of Sicily*. (disponible à www.bestofsicily.com/mag/art325.htm). Accédé novembre 2012.
**Morris, B.** 2004. *Insects and human life*. Oxford, UK, Berg.
**Mors, P.O.** 1958. Grasshoppers as food in Buhaya. *Anthropological Quarterly*, 31(2): 56–58.
**Motte-Florac, É. & Thomas, J.M.C.** 2003. Les "insectes" dans la tradition orale. *Ethnosciences*, 11: 407.
**Mpuchane, S., Taligoola, H.K. & Gashe, B.A.** 1996. Fungi associates with *Imbrasia belina*, an edible grasshopper. *Botswana Notes and Records*, 28: 193–197.
**Munthali, S.M. & Mughogho, D.E.C.** 1992. Economic incentives for conservation: bee-keeping and Saturniidae caterpillar utilization by rural communities. *Biodiversity and Conservation*, 1: 153–154.
**Munyuli Bin Mushambanyi, T.** 2000. Étude préliminaire orientée vers la production des chenilles comsommables par l'élevage des papillons (*Anaphe infracta*: Thaumetopoeidae) à Lwiro, Sud-Kivu. République démocratique du Congo. *Tropicultura*, 18(4): 208–211.
**Munyuli Bin Mushambanyi, T. & Balezi, N.** 2002. Utilisation des blattes et des termites comme substituts potentiels de la farine de viande dans l'alimentation des poulets de chair au Sud-Kivu, République démocratique du Congo. *Tropicultura*, 20(1): 10–16.
**Murray, S.S., Schoeninger, M.J., Bunn, H.T., Pickering, T.R. & Marlett, J.A.** 2001. Nutritional composition of some wild plant foods and honey used by Hadza foragers of Tanzania. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14: 3–13.
**Mustafa, N.E.M., Mariod, A.A., & Matthäus, B.** 2008. Antibacterial activity of *Aspongopus viduatus* (Melon bug) oil. *Journal of Food Safety*, 28: 577–586.
**Muyay, T.** 1981. *Les insectes comme aliments de l'homme: Série II, Vol. 69*. République démocratique du Congo, Ceeba Publications.
**Muzzarelli, R.A.A.** 2010. Chitins and chitosans as immunoadjuvants and non-allergenic drug carriers. *Marine Drugs*, 8(2): 292–312.
**Muzzarelli, R.A.A., Terbojevich, M., Muzzarelli, C., Miliani, M. & Francescangeli, O.** 2001. Partial depolymerization of chitosan with the aid of papain. *In* R.A.A. Muzzarelli, ed. *Chitin Enzymology*, pp. 405–414. Italy, Atec.
**Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., De Fonseca, G.A.B. & Kent, J.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853–858.
**Neuenschwander, P., Sinsin, B. & Goergen, G., eds.** 2011. *Protection de la nature en Afrique de l'Ouest: une liste rouge pour le Bénin*. Nature conservation in West Africa: red list for Benin. Ibadan, Nigéria, International Institute of Tropical Agriculture.
**N'Gasse, G.** 2004. Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire. *Produits forestiers non ligneux: Document de travail 1*. Rome, FAO.
**Nakagaki, B.J. & De Foliart, G.R.** 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, 84(3): 891–896.
**Naughton, J.M., Odea, K. & Sinclair, A.J.** 1986. Animal foods in traditional Australian aboriginal diets: polyunsaturated and low in fat. *Lipids*, 21(11): 684–690.

**Neely, G.G., Keene, A.C., Duchek, P., Chang, E.C., Wang, Q.P., Aksoy, Y.A., Rosenzweig, M., Costigan, M., Woolf, C.J., Garrity, P.A. & Penninger, J.M.** 2011. TrpA1 regulates thermal nociception in Drosophila. *Plos One*, 6(8): e24343.

**Newton, G.L., Booram, C.V., Barker, R.W. & Hale, O.M.** 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as supplement for swine. *J. Anim Sci.*, 44: 395–400.

**Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W. & Burtle, G.** 2005. *Using the black soldier fly,* Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure*. North Carolina, North Carolina State University. (disponible à www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/smithfield_projects/phase2report05/cd,web%20files/A2.pdf).

**Nkouka, E.** 1987. Les insectes comestibles dans les sociétés d'Afrique centrale. *Revue scientifique et culturelle du CICIBAASC LEIDEN*, 6(1): 171–178.

**Nonaka, K.** 1996. Ethnoentomology of the Central Kalahari San. *African Study Monographs*, 22: 29–46.

**Nonaka, K.** 2007. *Hebo yellow jackets: from the fields to the dinner table: a delightful culinary experience*. Tokyo, Tamasaya.

**Nonaka, K.** 2009. Feasting on insects. (Special issue: trends on the edible insects in Korea and Abroad.). *Entomological Research*, 39(5): 304–312.

**Nonaka, K.** 2010. Cultural and commercial roles of edible wasps in Japan. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 123–130. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Nonaka, K., Sivilay, S. & Boulidam, S.** 2008. *The biodiversity of insects in Vientiane*. Nara, Japan, National Agriculture and Forestry Institute and Research Institute for Hamanity and Nature.

**Nordic Food Lab.** 2012. Finding the deliciousness of insects. (disponible à http://nordicfoodlab.org/blog/2012/07/mad-2-finding-the-deliciousness-of-insects). Accédé novembre 2012.

**O'Dea, K., Jewell, P.A., Whiten, A., Altmann, S.A., Strickland, S.S. & Oftedal, O.T.** 1991. Traditional diet and food preferences of Australian Aboriginal hunter-gatherers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B.*, 334: 233–241.

**Offenberg, J.** 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of Applied Entomology*, 135(8): 575–581.

**Offenberg, J. & Wiwatwitaya, D.** 2009a. Sustainable weaver ant (*Oecophylla smaragdina*) farming: harvest yields and effects on worker ant density. *Asian Myrmecology*, 3: 55–62.

**Offenberg, J. & Wiwatwitaya, D.** 2009b. Weaver ants convert pest insects into food: prospects for the rural poor. Paper presented at the International Conference on Research, Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, University of Hamburg, Germany, 6–8 octobre 2009.

**Ogutu, M.A.** 1986. Sedentary hunting and gathering among the Tugen of Baringo District in Kenya. *Sprache und Geschichte in Afrika*, 7(2): 323–338.

**Ohura, M.** 2003. Development of an automated warehouse type silkworm rearing system for the production of useful materials. *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*, 72(3): 163–169.

**Oonincx, D.G.A.B. & van der Poel, A.F.B.** 2011. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biology*, 30: 9–16.

**Oonincx, D.G.A.B. & de Boer, I.J.M.** 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12): e51145.

**Oonincx, D.G.A.B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. & van Huis, A.** 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *Plos One*, 5(12): e14445.

**Osmaston, H.A.** 1951. The termite and its uses for food. *Uganda Journal (Kampala)*, 15: 8–83.

**Oso, B.** 1977. Mushrooms in Yoruba mythology and medicinal practices. *Economic Botany*, 31: 367–371.

**Oudhia, P.** 2002. Traditional medicinal knowledge about red ant *Oecophylla smaragdina* (Fab.) (Hymenoptera: Formicidae) in Chhattisgarh, India. *Insect Environment*, 8(3): 114–115.

**Owen, D.F.** 1973. *Man's environmental predicament: an introduction to human ecology in tropical Africa*. Oxford, Oxford University Press.

**Pagezy, H.** 1975. Les interrelations homme-faune de la forêt du Zaïre. *l'Homme et l'Animal, Premier Colloque d'Ethnozoologie*, pp.63–68. Paris, Institut international d'Ethnosciences.

**Panizzi, A.R.** 1997. Wild hosts of Pentatomids: Ecological significance and role in their pest status on crops. *Annual Reviews of Entomology*, 42: 99–122.

**Paoletti, M.G. ed.** 2005. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*. New Hampshire, États-Unis, Science Publishers.

**Paoletti, M.G., Buscardo, E., Vanderjagt, D.J., Pastuszyn, A., Pizzoferrato, L., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Glew, R.H., Millson, M. & Cerda, H.** 2003. Nutrient content of termites (*Syntermes* soldiers) consumed by Makiritare Amerindians of the Alto Orinoco of Venezuela. *Ecology of Food and Nutrition*, 42(2): 177–191.

**Paoletti, M.G. & Dufour, D.L.** 2005. Edible invertebrates among Amazonian Indians: a critical review of disappearing knowledge. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 293–342. New Hampshire, Science Publishers.

**Paoletti, M.G., Dufour, D.L., Cerda, H., Torres, F., Pizzoferrato, L. & Pimentel, D.** 2000. The importance of leaf- and litter-feeding invertebrates as sources of animal protein for the Amazonian Amerindians. *Proceedings of the Royal Society of London*, 267: 1459, 2247–2252.

**Paoletti, M.G., Norberto, L., Damini, R. & Musumeci, S.** 2007. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(3): 244–251.

**Parent, G. & Thoen, D.** 1977. Food value of edible mushrooms from upper Shaba region. *Economic Botany*, 31: 436–445.

**Parsons, J.R.** 2010. The pastoral niche in Pre-Hispanic Mesoamerica. *In* J.E. Staller and M.D. Carrasco. *Pre-Columbian foodways: interdisciplinary approaches to food, culture and markets in ancient Mesoamerica*, pp. 109–136. New York, Springer.

**Pearce, M.J.** 1997. *Termites: biology and pest management*. Wallingford. CAB International.

**Pemberton, R.W.** 1988. The use of the giant waterbug, *Lethocerus indicus* (Hemiptera: Belostomatidae), as human food in California. *Pan-Pacific Entomology*, 64(1): 81–82.

**Pemberton, R.W.** 1994. The revival of rice-field grasshoppers as human food in South Korea. *Pan-Pacific Entomologist*, 70(4): 323–327.

**Peng, R.K. & Christian, K.** 2005. Integrated pest management in mango orchards in the Northern Territory Australia, using the weaver ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) as a key element. *International Journal of Pest Management*, 51(2): 149–155.

**Peng, R.K., Christian, K. & Gibb, K.** 2004. Implementing ant technology in commercial cashew plantations and continuation of transplanted green ant colony monitoring. Canberra, Rural Industries Research and Development Corporation.

**Pérez-Expósito, A.B. & Klein, B.P.** 2009. Impact of fortified blended food aid products on nutritional status of infants and young children in developing countries. *Nutrition Review*, 67(12): 706–718.

**Perez, M.R.** 1995. *A conceptual framework for CIFOR's research on non-wood forest products*. CIFOR Working Paper, 6. Bogor, CIFOR.

**Phillips, J.K. & Burkholder, W.E.** 1995. Allergies related to food insect production and consumption. *The Food Insects Newsletter*, 8(2): 1, 2–4.

**Pimentel, D.** 1991. Ethanol fuels: Energy security, economics and the environment. *Agri. and Envir. Ethics*, 4(1): 1–13.

**Pimentel, D. & Pimentel, M.** 2003. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *Am. J. Clin. Nutr.*, 78: 660S–663S.

**Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. & Nandagopal, S.** 2004. Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience*, 54: 909–918.

**Pimentel, D., Dritschilo, W., Krummel, J. & Kutzman, J.** 1975. Energy and land constraints in food protein production. *Science*, 190 (4216): 754–761.

**Pliner, P. & Salvy, S.J.** 2006. Food neophobia in humans. *In* R. Shepherd & M. Raats, eds. *The psychology of food choice*, pp. 75–92. Oxfordshire, CABI Publishing.

**Politis, G.G.** 1996. Moving to produce: Nukak mobility and settlement patterns in Amazonia. *World Archaeology*, 27(3): 492–511.

**Portes, E., Gardrat, C., Castellan, A. & Coma, V.** 2009. Environmentally friendly films based on chitosan and tetrahydrocurcuminoid derivatives exhibiting antibacterial and antioxidative properties. *Carbohydrate Polymers*, 76(4): 578–584.

**Raina, S.K., Kioko, E.N., Gordon, I. & Nyandiga, C.** 2009. *Commercial insects and forest conservation: improving forest conservation and community livelihoods through income generation from commercial insects in three Kenyan forests*. Nairobi, Science Press.

**Ramandey, E. & van Mastrigt, H.** 2010. Edible insects in Papua, Indonesia: from delicious snack to basic need. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 105–114. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Ramos Elorduy, J.** 1984. Los insectos como un recurso actual et potencial. *In* T.R. Trujillo, ed. *Seminario sobre la alimentacion en Mexico*, pp. 126–139. Mexico, Instituto de Geografia, National Autonomous University of Mexico.

**Ramos Elorduy, J.** 1990. Edible insects: barbarism or solution to the hunger problem? *In* D.A. Posey & W.L. Overal, eds. *Ethnobiology: implications and applications. Proceedings of the First International Congress of Ethnobiology*, pp. 151–158. Bélem, Brazil, Museu Paraense Emílio Goeldi.

**Ramos Elorduy, J.** 1993. Food production and nutrional value of wild and semi-domesticated species: background. *In* C.M. Hladik, A. Hladik, O.F. Linares, H. Pagezy, A. Semple & M. Hadley, eds. *Tropical forests, people and food: biocultural interactions and applications to development*. Man and the Biosphere Series Volume 13. Paris, UNESCO.

**Ramos Elorduy, J.** 1997. The importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 347–366.

**Ramos Elorduy, J.** 2005. Insects: a hopeful food source. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 263–291. New Hampshire, Science Publishers.

**Ramos Elorduy, J.** 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2(51): 1–10.

**Ramos Elorduy, J.** 2009. Anthropo-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. (Special issue: trends on the edible insects in Korea and abroad). *Entomological Research*, 39: 5: 271–288.

**Ramos Elorduy, J., Carbajal Valdés, L.A. & Pino, J.M.** 2012. Socio-economic and cultural aspects associated with handling grasshopper germplasm in traditional markets of Cuautla, Morelos, Mexico. *J. Hum. Ecol.*, 40(1): 85–94.

**Ramos Elorduy, J., Costa-Neto, E.M., Pino, J.M., Cuevas Correa, M.S., Garcia-Figueroa, J. & Zetina, D.H.** 2007. Conocimiento de la entomofauna útil en

la Purísima Palmar de Bravo, Puebla, México. *Biotemas*, 20(2): 121–134.

**Ramos Elorduy, J., Gonzalez, E.A., Hernandez, A.R. & Pino, J.M.** 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1): 214–220.

**Ramos Elorduy, J. & Pino, J.M.** 1989. Los insectos comestibles en el México antiguo (estudio etnoentomológico). Mexico, A.G.T. Editor México.

**Ramos Elorduy, J. & Pino, J.M.** 2002. Edible insects of Chiapas, Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 41(4): 271–299.

**Ramos Elorduy, J. & Pino, J.M.** 2003. Enfermedades tratadas con insectos en el continente americano. *Entomología Mexicana*, 2: 604–611.

**Ramos Elorduy, J. & Pino, J.M.** 2006. Algunos ejemplos de aprovechamiento comercial de varios insectos comestibles y medicinales. *Entomología Mexicana*, 1: 524–533.

**Ramos Elorduy, J., Pino, J.M. & Martínez, V.H.C.** 2008. Una vista a la biodiversidad de la antropoentomofagía mundial. *Entomología Mexicana*, 7: 308–313.

**Ramos Elorduy, J., Pino, J. M. & Martínez, V.H.C.** 2009. Edible aquatic Coleoptera of the world with an emphasis on Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5(11).

**Ramos Elorduy, J., Pino, J.M., Prado, E.E., Perez, M.A., Otero, J.L. & de Guevara, O.L.** 1997. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 142–157.

**Ramos Elorduy, J., Pino, J.M., Vázquez, A.I., Landero, I., Oliva-Rivera, H. & Martinez, V.H.C.** 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(2): 1–22.

**Rastogi, N.** 2011. Provisioning services from ants: food and pharmaceuticals. *Asian Myrmecology*, 4: 103–120.

**Ravindran, V. & Blair, R.** 1993. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. *World's Poulty Science Journal*, 49: 219–235.

**Reese, G., Ayuso, R. & Lehrer, S.B.** 1999. Tropomyosin: An invertebrate pan-allergen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 119(4): 247–258.

**Roberge, J.M. & Angelstam, A.P.** 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation Biology*, 18(1): 76–85.

**Roberts, C.** 1998. Long-term costs of the mopane worm harvest. *Oryx*, 32(1): 6–8.

**Rohde, T.S.** 2012. Jysk præst spiste græshoppe under gudstjeneste: Kollega siger op i protest. In *BT*, posted on 12 September 2012. (disponible à www.bt.dk/utroligt-men-sandt/jysk-praest-spiste-graeshoppe-under-gudstjeneste-kollega-siger-op-i-pro). Accédé novembre 2012.

**Roos, N., Nurhasan, M., Thang, B., Skau, J., Wieringa, F., Khov, K., Friis, H., Michaelsen, K.F. & Chamnan, C.** 2010. WinFood Cambodia: improving child nutrition through improved utilization of local food. Poster for The WinFood Project, Denmark, Department of Human Nutrition, University of Copenhagen.

**Roulon-Doko, P.** 1998. Chasse, cueillette et cultures chez les Gbaya de Centrafrique. Paris, L'Harmattan.

**Rozin, P. & Fallon, A.E.** 1987. A perspective on disgust. *Psychological Review*, 94(1): 23–41.

**Rozin, P. & Vollmecke, T.A.** 1986. Food likes and dislikes. *Annual Review Nutrition*, 6: 433–456.

**Rumpold, B.A. & Schlüter, O.K.** 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(3) (DOI 10.1002/mnfr.201200735).

**Rutaisire, J.** 2007. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in Uganda. *In* M.R. Hasan, T. Hecht, S.S. De Silva & A.G.J. Tacon, eds. *Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development*, pp. 471–488. Rome, FAO.

**Ryan, L.G.** 1996. *Insect musicians & cricket champions: a cultural history of singing insects in China and Japan*. San Francisco, China Books and Periodicals, Inc.

**Ryu, K.S., Lee, H.S., Kim, K.Y., Kim, M.J., Kang, P.D., Chun, S.N., Lee, S.H. & Lee, M.L.** 2012. Anti-diabetic effects of the silkworm (*Bombyx mori*) extracts in the db/db mice. *Planta Med.*, 78: 458.

**Sachs, J.** 2010. Rethinking macroeconomics: knitting together global society. *The Broker*, 10: 1–3.

**Saeed, T., Dagga, F.A. & Saraf, M.** 1993. Analysis of residual pesticides present in edible locusts captured in Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 11(1): 1–5.

**Sahagun, B.** 1557. *Historia de las cosas de Nueva España (1905)*, 6: 2. Madrid, Hauser y Menet.

**Samways, M.J.** 2007. Insect conservation: a synthetic management approach. *Ann. Rev. Entomol*, 52: 465–487.

**Sanderson, M.G.** 1996. Biomass of termites and their emissions of methane and carbon dioxide: a global database. *Global Biogeochemical Cycles*, 10(4): 543–557.

**Sankar, S.** 2001. *Environmental economics*. Chennai, India, Margham Publications.

**Santos Oliveira, J. F., Passos de Carvalho, J., Bruno de Sousa, R.F.X. & Madalena Simao, M.** 1976. The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. *Ecology of Food and Nutrition*, 5: 91–97.

**Schabel, H.** 2006. Forest-based insect industries. *In* H. Schabel, ed. *Forest entomology in East Africa: forest insects of Tanzania*, pp. 247–294.

**Schneider, J.** 1844. Maikäfersuppen, ein vortreffliches und kräftiges Nahrungsmittel. *Magazin für die Staatsarzneikunde*, 3: 403–405.

**Schneider, J.C. ed.** 2009. *Principles and procedures for rearing high quality insects*. États-Unis, Mississippi State University.

**Scholtz, C.H.** 1984. *Useful insects*. Pretoria, De Jager-HAUM Publishers.

**Schroeckenstein, D.C., Meier-Davis, S. & Bush, R.K.** 1990. Occupational sensitivity to *Tenebrio molitor* Linnaeus (yellow mealworm). *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 86(2): 182–188.

**Schroeckenstein, D.C., Meier-Davis, S., Graziano, F.M., Falomo, A. & Bush, R.K.** 1988. Occupational sensitivity to *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (lesser mealworm). *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 82(6): 1081–1088.

**Sekhwela, M.D.B.** 1988. The nutritive value of mophane bread: mophane insect secretion (Maphote or Maboti). *Botswana Notes and Records*, 20: 151–153.

**Senti, G., Lundberg, M. & Wüthrich, B.** 2000. Asthma caused by a pet bat. *Allergy*, 55(4): 406–407.

**Settle, W.H., Ariawan, E.T., Astuti, W., Cahyana, A.L., Hakim, D., Hindayana, A.S. & Pajamingsih, L.** 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77: 1975–1988.

**Shear, W.A. & Kukalová-Peck, J.** 1990. The ecology of Paleozoic terrestrial arthropods: the fossil evidence. *Canadian Journal of Zoology*, 68(9): 1807–1834.

**Shen, L., Li, D., Feng, F. & Ren, Y.** 2006. Nutritional composition of *Polyrhachis vicina* Roger (edible Chinese black ant). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 28(1): 107–114.

**Sheppard, D.C.** 1983. House fly and lesser fly control utilizing the black soldier fly in manure management systems for caged laying hens. *Environ. Entomol.*, 12: 1439–1442.

**Sheppard, D.C., Newton, G.L. & Burtle, G.** 2008. Black soldier fly prepupae: a compelling alternative to fish meal and fish oil. A public comment prepared in response to a request by the National Marine Fisheries Service to gather information for the NOAA-USDA Alternative Feeds Initiative. Public comment on alternative feeds for aquaculture received by NOAA 15 November 2007 through 29 February 2008.

**Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A. & Savage, S.** 1994. A value added

manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3): 275–279.

**Sherman, R.A. & Wyle, F.A.** 1996. Low-cost, low maintenance rearing of maggots in hospitals, clinics, and schools. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 54: 38–41.

**Silow, C.A.** 1983. Notes on Ngangela and Nkoya ethnozoology. Ants and termites. *Etnologiska Studier*, 36: 177.

**Simberloff, D.** 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passé in the landscape era? *Biological Conservation*, 83(3): 247–257.

**Singtripop, T., Wanichacheewa, S. & Sakurai, S.** 2000. Juvenile hormone-mediated termination of larval diapause in the bamboo borer, *Omphisa fuscidentalis*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 30: 847–854.

**Siracusa, A., Marcucci, F., Spinozzi, F., Marabini, A., Pettinari, L., Pace, M.L. & Tacconi, C.** 2003. Prevalence of occupational allergy due to live fish bait. *Clinical and Experimental Allergy*, 33(4): 507–510.

**Sirimungkararat, S., Saksirirat, W., Nopparat, T. & Natongkham, A.** 2010. Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 189–200. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Siripanthong, S., Teerapantuwat, S., Prugsnusak, W., DSuputtamongkol, Y., Viriyasithavat, P., Chaowagul, W., Dance, D.A.B. & White, N.J.** 1991. Corneal ulcer cause by *Pseudomonas pseudomallei*: Report of three cases. *Reviews of Infectious Diseases*, 13(2): 335–337.

**Skelton, G.S. & Matanganyidze, C.** 1981. Detection by quantitative assay of various enzymes in the edible mushroom *Termitomyces microcarpus*. *Bull. Soc. Bot. Fr. 128, Lettres Botanique*, 3: 143–149.

**Slingenbergh, J., Gilbert, M., de Balogh, K. & Wint, W.** 2004. Ecological sources of zoonotic diseases. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 23(2): 467–484.

**Smil, V.** 2002. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30: 305–311.

**Smith, A.B.T. & Paucar, C.A.** 2000. Taxonomic review of *Platycoelia lutescens* (Scarabaeidae: Rutelinae: Anoplognathini) and a description of its use as food by the people of the Ecuadorian highlands. *Annals of the Entomological Society of America*, 93(3): 408–414.

**Sogbesan, A. & Ugwumba, A.** 2008. Nutritional evaluation of termite (*Macrotermes subhyalinus*) meal as animal protein supplements in the diets of Heterobranchus longifilis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 149–157.

**Sribandit, W., Wiwatwitaya, D., Suksard, S. & Offenberg, J.** 2008. The importance of weaver ant (*Oecophylla smaragdina* Fabricus) harvest to a local community in Northeastern Thailand. *Asian Myrmecology*, 2: 129–138.

**St-Hilaire, S., Cranfill, K., Mcguire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S.** 2007. Fish offal recycling by the Black Soldier Fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2): 309–313.

**Stack, J., Dorward, A., Gondo, T., Frost, P., Taylor, F. & Kurebgaseka, N.** 2003. Mopane worm utilisation and rural livelihoods in Southern Africa. Paper presented at the International Conference on Rural Livelihoods, Forests and Biodiversity, Bonn, Allemagne, 19–23 mai 2003.

**Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C, eds.** 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome, FAO.

**Sunderland, T.C.H., Ndoye, O. & Harrison-Sanchez, S.** 2011. Non-timber forest products and conservation: what prospects? *In* S. Shackleton, Ch. Shackleton & P. Shanley, eds. *Non-timber forest products in the global context*, pp. 209–224. Heidelberg, Allemagne, Springer.

**Sweet, C.** 2011. Sausalito insect supper promises finely sourced bugs. *The Sanfrancisco Gate*, posted on 23 September 2011. (disponible à http://insidescoopsf.sfgate.com/blog/2011/09/23/sausalito-insect-supper-promises-finely-sourced-bugs/).

**Tabuna, H.** 2000. *Évaluation des échanges des produits forestiers non ligneux entre l'Afrique subsaharienne et l'Europe*. Accra, Bureau régional de la FAO pour l'Afrique.

**Tacon, A.G.J. & Metian, M.** 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285: 146–158.

**Takeda, J.** 1990. The dietary repertory of the Ngandu people of the tropical rain forest: an ecological and anthropological study of the subsistence activities and food procurement technology of a slash-and-burn agriculturist in the Zaire river basin. *African Study Monographs. Supplementary Issue*, 11: 1–75.

**Takeda, J. & Sato, H.** 1993. Multiple subsistence strategies and protein resources of horticulturists in the Zaire basin: the Nganda and the Boyela. *In* C.M. Hladik, A. Hladik, O.F. Linares, H. Pagezy, A. Semple & M. Hadley, eds. *Tropical forests, people and food: biocultural interactions and applications to development.* Man and the Biosphere Series, 13. Paris, UNESCO.

**Taylor, R.L.** 1975. *Butterflies in my stomach: insects in human nutrition*. Santa Barbara, États-Unis, Woodbridge Press Publishing Company.

**Teffo, L.S.** 2006. *Nutritional and medicinal value of the edible stinkbug,* Encosternum delegorguei *Spinola consumed in the Limpopo Province of South Africa and its host plant* Dodoneae viscosa *Jacq. var. angustifolia*. Pretoria, University of Pretoria. (Phd thesis).

**Téguia, A., Mpoame, M. & Okourou, M.J.A.** 2002. The production performance of broiler birds as affected by the replacement of fish meal by maggot meal in the starter and finisher diets. *Tropicultura*, 20(4): 187–192.

**Tempelado, L.** 2012. Insect connoisseurs ask: Got any good recipes? *Asahi Shimbun*, online edition, posted on 12 December 2012. (disponible à http://ajw.asahi.com/article/cool_japan/cooking/AJ201212120003).

**Thorne, P.S.** 2007. Environmental health impacts of concentrated animal feeding operations: anticipating hazards: searching for solutions. *Environ. Health Perspect.*, 115: 296–297.

**Tieguhong, J.C., Ndoye, O., Vantomme, P., Grouwels, S., Zwolinski, J. & Masuch, J.** 2009. Coping with crisis in Central Africa: enhanced role for non-wood forest products. *Unasylva*, 233(60): 49–54.

**Tihon, L.** 1946. Pagezy, H. 1975. Les interrelations homme faune propos des termites au point de vue alimentaire. *Bull. Agric. du Congo Belge*, 37: 865–868.

**Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. & Polasky, S.** 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677.

**Tiu, L.G.** 2012. Enhancing Sustainability of Freshwater Prawn Production in Ohio. *Ohio State University South Centers Newsletter*, Fall 2012.

**Toledo, A. & Burlingame, B.** 2006. Biodiversity and nutrition: a common path toward global food security and sustainable development. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 477–483.

**Tomberlin, J.K. & Sheppard, D.C.** 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*, 84(4): 729–730.

**Tommaseo Ponzetta, M. & Paoletti, M.G.** 1997. Insects as food of the Irian Jaya populations. *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 321–346.

**Toms, R. & Thagwana, M.** 2005. On the trail of missing mopane worms. *Science in Africa*. (disponible à www.scienceinafrica.co.za/2005/january/mopane.htm).

**Toms, R. & Thagwana, M.** 2003. Eat your bugs! *Science in Africa*. (disponible à www.scienceinafrica.co.za/2005/january/mopane.htm).

**Tong, L., Yu, X. & Lui, H.** 2011. Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human

consumption during deep space flights. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 613–622.

**Torres, A.E.** 2008. *Conociendo la cadena productive de tuna y cochinilla en Ayacucho*. Ayachucho, Solid Peru.

**Townsend, P.K.** 1973. Sago production in a New Guinea economy. *Human Ecology*, 2: 217–236.

**Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F., eds.** 2004. *Borror and DeLong's introduction to the study of insects*. St. Paul, États-Unis, Brooks Cole.

**Turner, J.S. & Soar, R.C.** 2008. *Beyond biomimicry: what termites can tell us about realizing the living building*. Presentation to the First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON), 14–16 mai 2008, Loughborough University, England.

**Twine, W., Moshe, D., Netshiluvhi, T. & Siphugu, V.** 2003. Consumption and direct-use values of savanna bio-resources used by rural households in Mametja, a semi-arid area of Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Science*, 99(9–10): 467–473.

**Umesh, K.B., Akshara, M., Shripad, B., Harish, K.K. & Srinivasan, S.M.** 2009. Performance analysis of production and trade of Indian silk under WTO regime. Paper presented at the International Association of Agricultural Economists Conference, 16–22 août, Beijing, China.

**UN.** 2012. *World urbanization prospects, the 2011 revision*. New York, USA.

**UNESCO.** 2005. *United Nations decade of education for sustainable development (2005–2014): draft international implementation scheme*. Paris, UNESCO.

**Urs, K.C.D. & Hopkins, T.L.** 1973a. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 8: 291–297.

**Urs, K.C.D. & Hopkins, T.L.** 1973b. Effect of moisture on the lipid content and composition of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 8(4): 299–305.

**USDA.** 2012. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. (Mise à jour de septembre 2012). Accédé décembre 2012. (disponible à www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl).

**USFDA**. 2009. Color additives: FDA's regulatory process and historical perspectives. (disponible à www.fda.gov/ForIndustry/ColorAdditives/RegulatoryProcessHistoricalPerspectives/default.htm). Accédé novembre 2012.

**van der Meer, K.** 2004. Exclusion of small-scale farmers from coordinated supply chains: Market failure, policy failure or just economies of scale? Paper presented at the workshop "Is there a place for smallholder producers in coordinated supply chains?", 8 décembre 2004, Washington, D.C., États-Unis, Banque mondiale.

**van Hall, M.A.L., Dierikx, C.M., Cohen, S.J., Voets, G.M., van den Munckhof, M.P., van Essen-Zandbergen, A., Platteel, T., Fluit, A.C., van de Sande-Bruinsma, N., Scharinga, J. Bonten, M.J.M. & Mevius, D.J.** 2011. Dutch patients, retail chicken meat and poultry share the same ESBL genes, plasmids and strains. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(6): 873–880.

**van Huis, A.** 1996. The traditional use of arthropods in Sub-Saharan Africa. *Proceedings of the section Experimental and Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society (N.E.V.)*, 7: 3–20.

**van Huis, A.** 2003a. Medical and stimulating properties ascribed to arthropods and their products in Sub-Saharan Africa. *In* É. Motte-Florac & J.M.C. Thomas, eds. *Insects in oral literature and traditions*, pp. 367–382. Ethnosciences: 11. Société d'études linguistiques et anthropologiques de France (séries): 407. Paris, Peeters.

**van Huis, A.** 2003b. Insects as food in Sub-Saharan Africa. *Insect Science and its Application*, 23(3): 163–185.

**van Huis, A.** 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1): 563–583.

**van Huis, A.** 2005. Insects eaten in Africa (Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Heteroptera, Homoptera). *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock*, pp. 231–244. New Hampshire, États-Unis, Science Publishers.

**van Huis, A., van Gurp, H. & Dicke, M.** 2012. *Het insectenkookboek*. Amsterdam, Pays-Bas, Atlas.

**Van Itterbeeck, J.** 2008. Entomophagy and the West: barriers and possibilities, ecological advantages and ethical desirability. Wageningen, Wageningen University. (Thèse de doctorat).

**Van Itterbeeck, J. & van Huis, A.** 2012. Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(3): 1–19.

**Van Lenteren, J.C.** 2006. Ecosystem services to biological control of pests: why are they ignored? *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.*, 17: 103–111.

**Van Mele, P.** 2008. A historical review of research on the weaver ant Oecophylla in biological control. *Agricultural and Forest Entomology*, 10: 13–22.

**Vane-Wright, R.I.** 1991. Why not eat insects? *Bulletin of Entomological Research*, 81: 1–4.

**Vantomme, P., Gazza, S. & Lescuyer, G.** 2010. *Produits forestiers non ligneux*, Vol. 304. Paris, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

**Vantomme, P., Göhler, D. & N'Deckere-Ziangba, F.** 2004. Contribution of forest insects to food security and forest conservation: The example of caterpillars in Central Africa. *Odi Wildlife Policy Briefing*, 3.

**Vapari, C. & Kaplan, D.** 2007. Silk as a biomaterial. *Progress in Polymer Science*, 32(8-9): 99–107.

**Vega, F. & Kaya, H.** 2012. *Insect Pathology*. Londres, Academic Press.

**Veldkamp, T., G. van Duinkerken, A. van Huis, C.M.M. Lakemond, E. and Ottevanger, E., and M.A.J.S van Boekel,** 2012. *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study*. Wageningen UR Livestock Research, Report 638.

**Vernon, L.L. & Berenbaum, H.** 2004. A naturalistic examination of positive expectations, time course, and disgust in the origins and reduction of spider and insect distress. *Anxiety Disorders*, 18: 707–718.

**Vijver, M., Jager, T., Posthuma, L. & Peijnenburg, W.** 2003. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54(3): 277–289.

**Villanueva, G.R., Roubik, D.W. & Colli-Ucan, W.** 2005. Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatan peninsula. *Bee World*, 86(2): 35–41.

**Wang, D., Bai, Y.T., Li, J.H. & Zhang, C.X.** 2004. Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus* Walker). *Journal of Entomologia Sinica*, 11: 275–283.

**Weidner, H.** 1952. Insekten im Volkskunde und Kulturgeschichte. *Arbeitsgemeinschaft der Museen in Schleswig-Holstein. Niederschrift uber die Tagung der Arbeitsgemeinschaft am 28. und 29. Oktober 1950 im Heimatsmuseum in Rendsburg*, pp. 33–45.

**WHO.** 2013. Water-related diseases. (disponible à www.who.int/water_sanitation_health/diseases/malnutrition/en/). Accédé février 2013.

**WHO/FAO.** 2010. INFOSAN Information Note No. 1/2010 – Biosecurity. *Biosecurity: An integrated approach to manage risk to human, animal and plant life and health*. Genève, WHO.

**WHO/FAO.** 2012. Codex Alimentarius: international food standards. (disponible à www.codexalimentarius.org/). Accédé janvier 2013.

**Wikipedia contributors.** 2013. Maikäfersuppe. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikimedia Foundation, Inc. (disponible à http://de.wikipedia.org/wiki/Maik%C3%A4fersuppe). (Mis à jour le 23 February 2013).

**Wilson, J.R.U., Ajuonu, O., Center, T.D., Hill, M.P., Julien, M.H., Katagira, F., Neuenschwander, P., Njoka, S.W., Ogwang, J., Reeder, R.H. & Van, T.** 2007. The decline of water hyacinth on Lake Victoria was due to biological control by *Neochetina* spp. *Aquatic Botany*, 87(1): 90–93.

**Winfree, R.** 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195(1): 169–197.

**Wolcott, G.N.** 1933. *An economic entomology of the West Indies*. Puerto Rico, The Entomological Society of Puerto Rico.

**Womeni, H.M., Linder, M., Tiencheu, B., Mbiapo, F.T., Villeneuve, P., Fanni, J. & Parmentier, M.** 2009. Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids. *OCL – Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 16(4): 230–235.

**Wood, J.R. & Looy, H.** 2000. My ant is coming to dinner: culture, disgust, and dietary challenges. *Proteus*, 17(1): 52–56.

**Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z. & Zhiyong, C.** 2010. Review of the nuritive value of edible insects. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

**Xing-Bao, J. & Kai-Ling, X.** 1994. An index-catalogue of Chinese Tettigoniodea (Orthopteroidea: Grylloptera). *Journal of Orthoptera Research*, 3: 15–41.

**Yen, A.L.** 2002. Short-range endemism and Australian Psylloidea (Insecta: Hemiptera) in the genera *Glycaspis* and *Acizzia* (Psyllidae). *Invertebrate Systematics*, 16(4): 631–639.

**Yen, A.L.** 2005. Insects and other invertebrate foods of the Australian aborigines. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, pp. 367–388. New Hampshire, États-Unis, Science Publishers.

**Yen, A.L.** 2009. Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion. *Journal of Insect Conservation*, 13: 667–670.

**Yen, A.L.** 2010. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 65–84. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.

**Yen, A.L.** 2012. Edible insects and management of country. *Ecological Management & Restoration*, 13(1): 97–99.

**Yen, A.L., Hanboonsong, Y. & van Huis, A.** 2013. The role of edible insects in human recreation and tourism. *In* R.H. Lemelin, ed. *The management of insects in recreation and tourism*, pp. 169–185. Cambridge, Cambridge University Press.

**Yhoung-aree, J.** 2010. Edible insects in Thailand: nutritional values and health concerns. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 201–216.

**Yhoung-Aree, J., Puwastien, P. & Attig, G.A.** 1997. Edible insects in Thailand: an unconventional protein source? *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 133–149.

**Yhoung-Aree, J. & Viwatpanich, K.** 2005. Edible insects in the Laos PDR, Myanmar, Thailand, and Viet Nam. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock*, pp. 415–440. New Hampshire, Science Publishers.

**Yong-woo, L.** 1999. Silk reeling and testing manual. *FAO Agricultural Services Bulletin*, 136.

**Zagrobelny, M.A., Dreon, L., Gomiero, M.A.T., Marcazzan, G., Glaring, M.A., Linberg-Miller, B. & Paoletti, M.G.** 2009. Toxic moths: a truly safe delicacy. *Journal of Journal of Ethnobiology*, 29: 64–76.

**Zhang, C.X, Tang, X.D. & Cheng, J.A.** 2008. The utilization and industrialization of insect resources in China. *Entomological research*, 38(1): 38–47.

**Zoberi, M.H.** 1973. Some edible mushrooms from Nigeria. *Niger. Field*, 38: 81–90.

# Autres ouvrages

**Aisi, C., Hudson, M. & Small, R.** *How to ranch and collect insects in Papua New Guinea*. Cambridge, Cambridge University. (disponible à www.geog.cam.ac.uk/research/projects/insectfarming/InsectManual.pdf).

**Biomicicry Institute.** 2012. (disponible à www.biomimicryinstitute.org).

**Bay Area Bug Eating Society.** 2013. (disponible à www.planetscott.com/babes/index.asp).

**Cambridge University.** 2012. Sustainable insect farming in Papua New Guinea. Cambridge, UK. (disponible à www.geog.cam.ac.uk/research/projects/insectfarming/publications.html).

**Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).** 2012. Australian Dung Beetle Project. (disponible à www.csiro.au/Outcomes/Food-and-Agriculture/DungBeetles.aspx).

**Cultural Entomology Digest.** 2011. Insect articles. (disponible à www.insects.org/ced).

**FAO.** 2004. *Contribution des insects de la forêt à la sécurité alimentaire. L'exemple des chenilles d'Afrique centrale* (disponible à www.fao.org/docrep/007/j3463f/j3463f00.htm).

**FAO.** 2013. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture – Micro-organisms and Invertebrates. (disponible à www.fao.org/nr/cgrfa/cthemes/cgrfa-micro-organisms/en/).

**FAO.** 2013. Overview on aquaculture and fish farm feeds (including some insect species) of World Fisheries and Aquaculture. (disponible à www.fao.org/fishery/topic/13538/en).

**Girl Meets Bug.** 2013. Edible Insects: The Eco-logical alternative. (disponible à www.girlmeetsbug.com/).

**INRA, CIRAD, AFZ & FAO.** 2013. Animal Feed Resources Information System of FAO. (disponible à www.feedipedia.com).

**International Centre of Insect Physiology and Ecology.** 2013. African insects Science for Food and Health. (disponible à www.icipe.org).

**LINCAOCNET.** 2013. Les insectes comestibles d'Afrique de l'Ouest et centrale sur Internet. (disponible à http://gbif.africamuseum.be/lincaocnet).

**Montana State University.** *The Food Insects Newsletter*. Utah, USA. (disponible à www.foodinsectsnewsletter.org).

**Network for Insect Collectors.** 2013. The Network for Insect Collectors. (disponible à www.insectnet.com).

**Oversease Development Institute.** 2004. *Contribution of forest insects to food security and forest conservation: The example of caterpillars in Central Africa*. ODI Wildlife Policy Briefing, No. 3. Londres. (disponible à www.odi.org.uk/work/projects/03-05-bushmeat/wildlife_policy_briefs.htm).

**Smallstock Food Strategies LLC.** 2013. Smallstock. (disponible à www.smallstockfoods.com/about/).

**South-South Cooperation.** 2013. Partners in south-south cooperation. (disponible à www.southsouthcooperation.net/dvd/88-edible-insects-from-benin-to-costa-rica.html).

**Venik.** 2013. Dutch Insect Farmers Association. (disponible à http://venik.nl).

**WUR. 2012.** Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study. (disponible à http://www.wageningenur.nl/upload/ff5e933e-474b-4bd4-8842-fb67e6f51b61_234247%5B1%5D).

**WUR.** 2013. List of edible insects of the world. Wageningen, Wageningen University. (disponible à www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/).

***All internet links were checked on 18 March 2013.*

**ÉTUDES FAO: FORÊTS**

1 Contrats d'exploitation forestière sur domaine public, 1977 (A E F)
2 Planification des routes forestières et des systèmes d'exploitation, 1977 (A E F)
3 Liste mondiale des écoles forestières, 1977 (A/E/F)
3 Rév. 1. Liste mondiale des écoles forestières, 1981 (A/E/F)
3 Rév. 2. Liste mondiale des écoles forestières, 1986 (A/E/F)
4/1 La demande, l'offre et le commerce de la pâte et du papier – Vol. 1, 1977 (A E F)
4/2 La demande, l'offre et le commerce de la pâte et du papier – Vol. 2, 1977 (A E F)
5 The marketing of tropical wood, 1976 (A E)
6 Manuel de planification des parcs nationaux, 1978 (A E F)
7 Le rôle des forêts dans le développement des collectivités locales, 1978 (A Ar E F)
8 Les techniques des plantations forestières, 1979 (A* Ar C E F)
9 Wood chips – production, handling, transport, 1976 (A C E)
10/1 Estimation des coûts d'exploitation à partir d'inventaires forestiers en zones tropicales – 1. Principes et méthodologie, 1980 (A E F)
10/2 Estimation des coûts d'exploitation à partir d'inventaires forestiers en zones tropicales – 2. Recueil des données et calculs, 1980 (A E F)
11 Reboisement des savanes en Afrique, 1981 (A F)
12 China: forestry support for agriculture, 1978 (A)
13 Prix des produits forestiers 1960-1977, 1979 (A/E/F)
14 Mountain forest roads and harvesting, 1979 (A)
14 Rev.1. Logging and transport in steep terrain, 1985 (A)
15 AGRIS foresterie – Catalogue mondial des services d'information et de documentation, 1979 (A/E/F)
16 Chine: industries intégrées du bois, 1980 (A E F)
17 Analyse économique des projets forestiers, 1980 (A E F)
17 Sup.1. Economic analysis of forestry projects: case studies, 1979 (A E)
17 Sup.2. Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (A C)
18 Prix des produits forestiers 1960-1978, 1980 (A/E/F)
19/1 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 1, 1980 (A)
19/2 Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 2, 1980 (A)
20 Amélioration génétique des arbres forestiers, 1985 (A C E F)
20/2 A guide to forest seed handling, 1985 (A E)
21 Influences exercées par les essences à croissance rapide sur les sols des régions tropicales humides de plaine, 1982 (A E F)
22/1 Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers – Vol. 1. Estimation des volumes, 1980 (A C E F)
22/2 Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers – Vol. 2. Étude et prévision de la production, 1980 (A C E F)
23 Prix des produits forestiers 1961-1980, 1981 (A/E/F)
24 Cable logging systems, 1981 (A C)
25 Public forestry administrations in Latin America, 1981 (A)
26 La foresterie et le développement rural, 1981 (A E F)
27 Manuel d'inventaire forestier, 1981 (A F)
28 Small and medium sawmills in developing countries, 1981 (A E)
29 La demande et l'offre mondiales de produits forestiers 1990 et 2000, 1982 (A E F)
30 Les ressources forestières tropicales, 1982 (A E F)
31 Appropriate technology in forestry, 1982 (A)
32 Classification et définitions des produits forestiers, 1982 (A/Ar/E/F)
33 Exploitation des forêts de montagne, 1984 (A E F)
34 Espèces fruitières forestières, 1982 (A E F)
35 Forestry in China, 1982 (A C)
36 Technologie fondamentale dans les opérations forestières, 1982 (A E F)
37 Conservation et mise en valeur des ressources forestières tropicales, 1983 (A E F)
38 Prix des produits forestiers 1962-1981, 1982 (A/E/F)
39 Frame saw manual, 1982 (A)
40 Circular saw manual, 1983 (A)
41 Techniques simples de carbonisation, 1983 (A E F)
42 Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement, 1983 (A Ar E F)
43 Systèmes de revenus forestiers dans les pays en développement, 1987 (A E F)
44/1 Essences forestières, fruitières et alimentaires – 1. Exemples d'Afrique orientale, 1984 (A E F)
44/2 Essences forestières, fruitières et alimentaires – 2. Exemples de l'Asie du Sud-Est, 1986 (A E F)
44/3 Food and fruit-bearing forest species – 3. Examples from Latin America, 1986 (A E)
45 Establishing pulp and paper mills, 1983 (A)
46 Prix des produits forestiers 1963-1982, 1983 (A/E/F)
47 Enseignement technique forestier, 1989 (A E F)
48 Évaluation des terres en foresterie, 1988 (A C E F)
49 Le débardage de boeufs et de tracteurs agricoles, 1986 (A E F)
50 Transformations de la culture itinérante en Afrique, 1984 (A F)
50/1 Changes in shifting cultivation in Africa – seven case-studies, 1985 (A)
51/1 Études sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux – 1. Formations forestières sèches, 1984 (A F)
52/1 Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (A)
52/2 Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (A)
53 Aménagement polyvalent intensif des forêts au Kerala, 1985 (A E F)
54 Planificación del desarrollo forestal, 1984 (E)
55 Aménagement polyvalent intensif des forêts sous les tropiques, 1985 (A E F)
56 Breeding poplars for disease resistance, 1985 (A)
57 Coconut wood – processing and use, 1985 (A E)
58 Sawdoctoring manual, 1985 (A E)

59 Les effets écologiques des eucalyptus, 1986 (A C E F)
60 Suivi et évaluation des projets de foresterie communautaire, 1989 (A E F)
61 Prix des produits forestiers 1965-1984, 1985 (A/E/F)
62 Liste mondiale des institutions s'occupant des recherches dans le domaine des forêts et des produits forestiers, 1985 (A/E/F)
63 Industrial charcoal making, 1985 (A)
64 Boisements en milieu rural, 1987 (A Ar E F)
65 La législation forestière dans quelques pays africains, 1986 (A F)
66 Forestry extension organization, 1986 (A C E)
67 Some medicinal forest plants of Africa and Latin America, 1986 (A)
68 Appropriate forest industries, 1986 (A)
69 Management of forest industries, 1986 (A)
70 Terminologie de la lutte contre les incendies de forêt, 1986 (A/E/F)
71 Répertoire mondial des institutions de recherche sur les forêts et les produits forestiers, 1986 (A/E/F)
72 Wood gas as engine fuel, 1986 (A E)
73 Produits forestiers – Perspectives mondiales: projections 1985-2000, 1986 (A/E/F)
74 Guidelines for forestry information processing, 1986 (A)
75 An operational guide to the monitoring and evaluation of social forestry in India, 1986 (A)
76 Wood preservation manual, 1986 (A)
77 Databook on endangered tree and shrub species and provenances, 1986 (A)
78 Appropriate wood harvesting in plantation forests, 1987 (A)
79 Petites entreprises forestières, 1988 (A E F)
80 Forestry extension methods, 1987 (A)
81 Guidelines for forest policy formulation, 1987 (A C)
82 Prix des produits forestiers 1967-1986, 1988 (A/E/F)
83 Trade in forest products: a study of the barriers faced by the developing countries, 1988 (A)
84 Produits forestiers – Perspectives mondiales: projections 1987-2000, 1988 (A/E/F)
85 Programmes d'enseignement en matière de vulgarisation forestière, 1988 (A/E/F)
86 Forestry policies in Europe, 1988 (A)
87 Petites opérations de récolte du bois et d'autres produits forestiers par les ruraux, 1989 (A E F)
88 Aménagement des forêts tropicales humides en Afrique, 1990 (A F P)
89 Review of forest management systems of tropical Asia, 1989 (A)
90 Foresterie et sécurité alimentaire, 1993 (A Ar E F)
91 Outils et machines simples d'exploitation forestière, 1990 (A E F) (Publié uniquement dans la Collection FAO: Formation, no 18)
92 Forestry policies in Europe – an analysis, 1989 (A)
93 Energy conservation in the mechanical forest industries,1990 (A E)
94 Manual on sawmill operational maintenance, 1990 (A)
95 Prix des produits forestiers 1969-1988, 1990 (A/E/F)
96 Planning and managing forestry research: guidelines for managers, 1990 (A)
97 Produits forestiers non ligneux: Quel avenir? 1992 (A E F)
98 Les plantations à vocation de bois d'œuvre en Afrique intertropicale humide, 1991 (F)
99 Cost control in forest harvesting and road construction, 1992 (A)
100 Introduction à l'ergonomie forestière dans les pays en développement, 1994 (A E F)
101 Aménagement et conservation des forêts denses en Amérique tropicale, 1992 (A F P)
102 Gérer et organiser la recherche forestière, 1993 (A E F)
103 Les plantations forestières mixtes et pures dans les régions tropicales et subtropicales, 1995 (A E F)
104 Forest products prices, 1971-1990, 1992 (A)
105 Compendium of pulp and paper training and research institutions, 1992 (A)
106 Évaluation économique des impacts des projets forestiers, 1994 (A F)
107 Conservation des ressources génétiques dans l'aménagement des forêts tropicales – Principes et concepts, 1994 (A E F)
108 A decade of energy activities within the Nairobi programme of action, 1993 (A)
109 FAO/IUFRO directory of forestry research organizations, 1993 (A)
110 Actes de la réunion d'experts sur la recherche forestière, 1993 (A/E/F)
111 Forestry policies in the Near East region: analysis and synthesis, 1993 (A)
112 Évaluation des ressources forestières 1990 – Pays tropicaux, 1994 (A E F)
113 Conservation *ex situ* de pollen et de graines, et de cultures *in vitro* de plantes ligneuses pérennes, 1994 (A F)
114 Analyse d'impacts de projets forestiers: problèmes et stratégies, 1995 (A E F)
115 Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific, 1993 (A)
116 Les panneaux à base de bois, 1993 (F)
117 Mangrove forest management guidelines, 1993 (A)
118 Biotechnology in forest tree improvement, 1994 (A)
119 Numéro non assigné
120 Decline and dieback of trees and forests – A global overview, 1994 (A)
121 Écologie et éducation en milieu rural – Manuel de pédagogie rurale, 1995 (A E F)
122 Ouvrages sur l'aménagement durable des forêts, 1994 (A E F)
123 Enseignement forestier – Tendances récentes et perspectives, 1994 (A F)
124 Évaluation des ressources forestières 1990 – Synthèse mondiale (A E F)
125 Prix des produits forestiers 1973-1992, 1995 (A/E/F)
126 Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier – Aspects généraux, 1997 (A E F)
127 Détermination de la valeur des forêts: contexte, problèmes et orientations, 1997 (A F S)
128 Forest resources assessment 1990 – Tropical forest plantation resources, 1995 (A)
129 Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry, 1996 (A)

130 Forest resources assessment 1990 – Survey of tropical forest cover and study of change processes, 1996 (A)
131 Ecología y enseñanza rural - Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas, 1996 (E)
132 Politiques forestières d'un certain nombre de pays d'Afrique, 1996 (E/F)
133 Forest codes of practice – Contributing to environmentally sound forest operations, 1996 (A)
134 Estimating biomass and biomass change of tropical forests – A primer, 1997 (A)
135 Guidelines for the management of tropical forests – 1. The production of wood, 1998 (A E)
136 Managing forests as common property, 1998 (A)
137/1 Forestry policies in the Caribbean – Volume 1: Proceedings of the Expert Consultation, 1998 (A)
137/2 Forestry policies in the Caribbean – Volume 2: Reports of 28 selected countries and territories, 1998 (A)
138 Réunion de la FAO sur les politiques nationales ayant une incidence sur les incendies de forêt, 2001(A E F)
139 Principes de bonne gestion des concessions et contrats relatifs aux forêts publiques, 2003 (A E F)
140 Évaluation des ressources forestières mondiales 2000 – Rapport principal, 2002 (A E F)
141 Étude prospective du secteur forestier en Afrique – Rapport régional: opportunités et défis à l'horizon 2020, 2003 (A Ar F)
142 Impacts intersectoriels des politiques forestières et des autres secteurs, 2005 (A E F)
143 Gestion durable des forêts tropicales en Afrique centrale – Recherche d'excellence, 2003 (A F)
144 Climate change and the forest sector – Possible national and subnational legislation, 2004 (A)
145 Meilleures pratiques pour l'application des lois dans le secteur forestier, 2006 (A E F R)
146 Microfinance et petites entreprises forestières, 2005 (A Ar E F)
147 Évaluation des ressources forestières mondiales 2005 – Progrès vers la gestion forestière durable, 2006 (A E F)
148 Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe, 2006 (E)
149 Améliorer la foresterie pour réduire la pauvreté – Manuel du praticien, 2006 (A Ar E F)
150 La nouvelle génération de programmes et projets d'aménagement des bassins versants (A E F)
151 Fire management – Global assessment 2006, 2007 (A)
152 People, forests and trees in West and Central Asia – Outlook for 2020, 2007 (A Ar R)
153 The world's mangroves 1980–2005, 2007 (A)
154 Les forêts et l'énergie – Questions principales, 2008 (A Ar C E F R)
155 Les forêts et l'eau, 2009 (A E F)
156 Global review of forest pests and diseases, 2009 (A)
157 Les conflits humains-faune en Afrique – Causes, conséquences et stratégies de gestion, 2010 (A F)
158 Lutte contre l'ensablement - L'exemple de la Mauritanie, 2010 (A F)
159 Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases, 2010 (A)
160 Criteria and indicators for sustainable woodfuels, 2010 (A)
161 Élaborer une politique forestière efficace – Guide, 2010 (A F E)
162 What woodfuels can do to mitigate climate change, 2010 (A)
163 Évaluation des ressources forestières mondiales 2010 – Rapport principal, 2010 (A E F)
164 Guide pour la mise en œuvre des normes phyto-sanitaires dans le secteur forestier, 2011 (A, F, R)
165 Réforme du régime forestier – Enjeux, principes et processus (A E F)
166 Community-based fire management – A review (A)
167 Wildlife in a changing climate (A)
168 Soil carbon monitoring using surveys and modelling – General description and application in the United Republic of Tanzania (A)
169 Changement d'utilisation des terres forestières mondiales (A E F)
170 Sustainable management of *Pinus radiata* plantations (E)
171 Insectes comestibles – Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale (E F)

A – Anglais
Ar – Arabe
C – Chinois
E – Espagnol
F – Français
P – Portugais
R – Russe
Multil – Multilingue
* – Épuisé

*On peut se procurer les Études FAO: Forêts auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement au Groupe des ventes et de la commercialisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.*

171

ÉTUDE FAO FORÊTS

# Insectes comestibles

## Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale

Les insectes comestibles ont toujours été au menu des hommes, mais dans quelques sociétés un certain degré de dédain et de dégoût s'oppose à leur consommation. La majorité des insectes consommés sont encore récoltés dans leurs habitats forestiers, mais il existe désormais des systèmes d'élevage dans de nombreux pays. Les insectes représentent une bonne opportunité d'associer connaissances traditionnelles et science moderne afin d'améliorer la sécurité alimentaire partout dans le monde.

Cet ouvrage documente la contribution des insectes à la sécurité alimentaire. Il examine les perspectives d'élevage des insectes à échelle commerciale pour améliorer la production d'aliments destinés aux animaux et aux hommes, pour la diversification des régimes alimentaires et dans le but de contribuer aux moyens de subsistance aussi bien dans les pays en développement que développés. Il présente également les nombreuses utilisations traditionnelles, nouvelles et potentielles des insectes pour la consommation humaine directe et les opportunités et contraintes liées à leur élevage pour l'alimentation humaine et animale. Il examine l'ensemble des recherches sur des sujets comme la nutrition des insectes et la sécurité des aliments, l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale, et la transformation et la conservation des insectes et de leurs produits. Il souligne la nécessité de développer un cadre réglementaire pour régir l'utilisation des insectes à des fins alimentaires. Enfin, il propose des études de cas et des exemples du monde entier.

Les insectes comestibles constituent une alternative prometteuse à la production conventionnelle de viande, que ce soit pour la consommation directe par l'homme ou pour une utilisation indirecte comme aliments pour les animaux. Pour réaliser pleinement ce potentiel, beaucoup de travail reste à faire par un grand nombre d'intervenants concernés. Ce document aidera à mieux comprendre les nombreux rôles importants que les insectes jouent dans le maintien de la nature et de la vie humaine, et stimulera certainement le débat sur l'expansion de l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale.

ISBN 978-92-5-207595-0 ISSN 1014-2894
9 789252 075950
I3253F/1/09.14